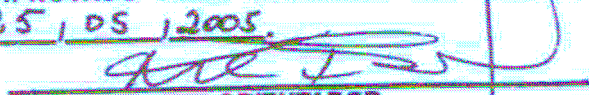


ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À REDAÇÃO DO TRABALHO
FINAL DE MESTRADO PROFISSIONAL DEFENDIDO POR
JOÃO PINTO LIMA
E APROVADO PELA COMISSÃO JULGADORA EM
25/05/2005.

ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**Modelagem e Teste de Condutividade Térmica em
Placa de Gesso e Fibra Vegetal, *Mauritia vinifera*
Martius, para uso na Construção Civil.**

Autor: João Pinto Lima

Orientador: Prof. PhD. Kamal Abdel Radi Ismail

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÉRMICA E FLUIDOS**

**Modelagem e Teste de Condutividade Térmica
em Placa de Gesso e Fibra Vegetal, *Mauritia
vinifera Martius*, para uso na Construção Civil.**

Autor: João Pinto Lima

Orientador: Prof. PhD. Kamal Abdel Radi Ismail

Curso: Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Refrigeração e Condicionamento Ambiental

Trabalho Final de Mestrado Profissional apresentado à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do Título de Mestre Profissional em Engenharia Mecânica.

Campinas, maio 2005

S.P – Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

L628m Lima, João Pinto
Modelagem e teste de condutividade térmica em placa de gesso e fibra vegetal, *Mauritia vinifera martius*, para uso na construção civil / João Pinto Lima, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: Kamal Abdel Radi Ismail
Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Materiais compostos. 2. Buriti. 3. Gesso. 4. Gipsito. 5. Materiais de construção. 6. Isolamento (Calor). I. Ismail, Kamal Abdel Radi. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Modeling and conductivity thermal test in plate of plaster vegetal
faber, *Mauritia vinifera martius*, to be used in civil construction.

Palavras-chave em Inglês: Composites, Mauritia, Buriti, Gipsy, Civil Construction
Material, Thermic Isolation, Palmacea

Área de concentração: Refrigeração e Condicionamento Ambiental

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Waldemir Silva de Lima e Valdemar Silva Leal

Data da defesa: 25/05/2005

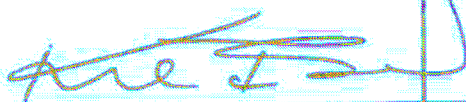
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÉRMICA E FLUIDOS**

Trabalho Final de Mestrado Profissional

**Modelagem e Teste de Condutividade Térmica em
Placa de Gesso e Fibra Vegetal, *Mauritia vinifera*
Martius, para uso na Construção Civil.**

Autor: Eng. João Pinto Lima

Orientador: Prof. PhD. Kamal Abdel Radi Ismail



Prof. PhD. Kamal Abdel Radi Ismail, Presidente
FEM/UNICAMP



Prof. Dr. Valdemir Silva Leal
UEMA



Prof. Dr. Waldemir Silva de Lima
UEMA

Campinas, maio de 2005

Dedicatória

Dedico este trabalho:

A meus pais e irmão, **Luiz** (Caraúba) e **Maria** (Neném) e, **José** (Zé Pinto) (*in memoriam*). E aos demais **irmãos**.

À **Ana Tereza** e, aos nossos filhos, **Patrícia** (Pathy), **Eduardo** (Dudu), **Thiago** (Ago) e **Ricardo** (Rico). Às nossas netas, **Ana Isabela** (Bell) e **Maria Isadora** (Isa).

Agradecimentos

Acreditamos no trabalho: por ser uma ação cidadã, um valor dos homens bons e justos.

Acreditamos no trabalho: quando vemos “Seu Zé”, na juventude de seus cinquenta anos, abraçado ao tronco da palmeira de buriti, com seu facão em riste, a vinte metros do chão, golpear de morte o brolho da *Mauritia*.

Acreditamos no trabalho: quando vemos com admiração, “Dona Graça”, com sua peixeira entre os dedos calejados e com a habilidade de uma cirurgiã retirar do brolho já vencido, o fino véu da *Mauritia*, o linho: objeto de minha cobiça.

Acreditamos no trabalho quando vemos todos como Fênix: Os Kamal, os “Paulos”, os “Zés de Romão” e os “Cumpadres Abreu”, os “Sanás” e os “Arquimedes”, os “Zés de Mira” e os “Zés de Bira”, os “Paulinos” e os “Joões de Mota, de Leal e de Deus”, as “Ritas”, as “Irás”, as “Veríssimas”, os “Zequiés”, os “De Meneses”, as “Tatás”, os “Pô”, as “Pflu”, os “Carlinhos” e os “Muchaks” e a outros tantos que cultivam em seus templos a virtude, o talento, a paciência, a sabedoria e a generosidade.

Por isto, e por tantos outros testemunhos, que acreditamos e agradecemos a Deus.

Vô,

“Faz um livrinho pra mim!...”

(Ana Isabela, 5 anos)

“Quero um também!...”

(Isadora, 4 anos)

Resumo

LIMA, João Pinto, Modelagem e Teste de Condutividade Térmica em Placa de Gesso e Fibra Vegetal, *Mauritia vinifera Martius*, para uso na Construção Civil, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2005, 140 p. Trabalho Final de Mestrado Profissional.

O conforto ambiental nas edificações é buscado pelos arquitetos como requisito básico na arte de projetar. Estudos de volumetria, o dimensionamento de aberturas, a modelagem dos espaços, o estudo da direção das correntes de ar e a insolação são alguns pressupostos que devam ser observados quando da análise projectual. Ao desenvolvermos a pesquisa sobre material compósito para uso na construção civil utilizando Argamassa de Gesso e Fibra Vegetal, *Mauritia vinifera Martius* – Palmeira de Buriti-ivan, tem-se como objetivo obter um novo material que possa ser utilizado como revestimento ou elementos de vedação, agregando a este propriedade que conduza à baixa condutividade térmica. A partir da mistura homogeneizada da argamassa de gesso e fibras vegetais em proporção titulada foram produzidas amostras do compósito que submetidas ao **Teste do Fio Quente Paralelo** determinação da condutividade térmica pela propagação de ondas isotérmicas de calor. Foram determinantes na pesquisa, os estudos da titulação entre as partes agregadas, o teor de umidade, o índice de vazios e a porosidade das amostras. Os testes indicaram que o melhor desempenho obteve-se com as misturas de titulações de 0 % a 35 % de fibra vegetal, M.v.M para o intervalo de tempo compreendido entre 640 a 1280 minutos.

Palavras Chaves

Compósitos, *Mauritia*, Buriti, Gesso, Gipsita, Material de Construção, Isolamento Térmico, Palmácea.

Abstract

LIMA, João Pinto, Modeling and Conductivity Thermal Test in plate of plaster vegetal fiber, *Mauritia vinifera Martius*, to be used in Civil Construction, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2005, 140 p. Trabalho Final de Mestrado Profissional.

The indoor comfort in buildings is researched by the architects as a basic criterion in the art of architecting. Volumetric studies, measuring of arches, space design, studies of the air conditioning as well as insulation are some of the aspects which must be focused by the architecting of projecting. By the time we developed the research on composite material to be used in the civil engineering using gipsy and natural fibers, *Mauritia vinifera Martius* – buriti palm tree, we had as a main goal to obtain a new material which could be used as a revestment or elements of tapping, adding to it properties that conduct to a low thermal conductivity. Based on the homogeneous mixture of gipsy and natural fibers in specific proportion of composite were produced samples which were submitted to a “parallel heat wire Test” – part 2. ISO 8894 – 2, which consists in determining of the temperature with the material samples through a scratch with wire resistor and a thermopair with 30° grade Celsius referential interconnected, respectively, to an electric source and a Signal Acquisition Board which determines the thermal conductivity of the material through the propagation of heat isothermic waves. The studies of mixing elements of definite proportion between mixed parts, the humidity level and the porosity of the samples have been of great importance to this research. The tests showed that the best performance was obtained by the mixture of and their percentages of 0 % a 35 of material fiber for the time between 640 a 1280 seconds.

Key – Words

Composites, *Mauritia*, Buriti, Gipsy, Civil Construction Material, Thermal Isolation, Palmacea.

Lista de Ilustrações

2.1	Cristais de Gipsita	8
2.2	Vegetação Ciliar – Aspecto geral	15
2.3	Palmeira do Buriti – Buriti-Ivan – Copa	16
3.1	Local de Amostragem	21
3.2	Coleta da Folha de Buriti-ivan	22
3.3	Retirada do Linho da Folha do Buriti-ivan	23
3.4	Secagem do Linho da folha do Buriti-ivan	24
3.5	Forma das Amostras: Alumínio e Vidro	29
3.6	Vista Geral das Amostras	31
3.7	Geometria da Amostra	37
3.8	Arranjo Físico: Método do Fio Quente Paralelo	38
4.1	Curva: Massa e Condutividade Variável e Tempo constante.....	44

Lista de Quadros

3.1	Peso dos Compósitos e dos Materiais: Gesso e Fibra Vegetal – M.v.M	27
3.2	Título das Amostras	28
3.3	Dimensões da Forma – (ISO 8894 - 2)	29
3.4	Resultados - Índices Físicos das Amostras	34
3.5	Resultados - Calor Específico das Amostras	36

Lista de Abreviaturas

a.C	Antes de Cristo
Cte	Constante
GLP	Gás liquefeito de Petróleo
LABCMEM	Laboratório de Caracterização Micro-Estrutural de Materiais
M.v.M	<i>Mauritia vinifera Martius</i>
S.p	Século passado
UNICAMP	Universidade de Campinas

Lista de Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society of Testing Materials
Ceped	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DE.DET	Departamento de Desenho e Tecnologia
INPA	Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
ISO	International Organization for Standardization
NTMf	Núcleo de Tecnologia da Madeira e das Fibras
PI	Estado do Piauí
UFMA	Universidade Federal do Maranhão

Lista de Nomenclaturas

$\%$	Por cento
W / mK	Condutividade Térmica expressa em grau Kelvin
$W / m^2 \text{ } ^\circ C$	Condutância
$CaSO_4 2H_2O$	Sulfato de Cálcio biihidratado
CaO	Óxido de Cálcio
$W / m^\circ C$	Condutividade térmica expressa em grau Celsius
$m\mu$	Milimicra
T	Temperatura
m	Metro
mm	Milímetro
A / G	Fator água/gesso
H_2O	Molécula de Água
HCl	Ácido clorídrico
$^\circ C$	Grau Celsius
MPa	Mega Pascal
ρ_a	Peso específico das partículas da amostra
ρ_d	Peso específico do meio dispersor
v	Velocidade de dispersão da esfera
K	Graus Kelvin
ρ	Peso Específico
$h\%$	Teor de Umidade
P_a	Peso da Amostra Saturada
P_s	Peso da amostra após a secagem
$n(\%)$	Porosidade
ρ_{Sat}	Peso específico saturado da amostras
t_1	Título de uma mistura
g	Gramma

kg	Quilo
A	Área da amostra
$C_{n=1,2,3...}$	Constante de integração
ε	Índice de vazios
V	Tensão, em Volt
I	Corrente, em ampères
ΔT	Diferença de temperatura
kg / m^3	Densidade
$\Delta \theta$	Diferença de temperatura em Kelvins
t	Tempo, em segundos
C_p	Calor específico
c	Capacidade Térmica
m_1	Massa
P_s	Peso Seco
V_s	Volume total seco
$\#$	Malha de Peneira
C	Vitamina “C”
π	Letra Grega = 3,1415...
$CaSO_4.1/2.H_2O$	Sulfato de Cálcio semi hidratado
$CaSO_4$	Sulfato de Cálcio
k	Condutividade Térmica Instantânea
$\vec{v}$	Vetor
l_n	Logaritmo Neperiano
Ω	Ômega
$Ni - Al$	Liga níquel Alumínio
Mn	Manganês
Fe	Ferro
Si	Silício

Co	Cobalto
r_1	Distância entre o fio Resistor e o Termopar
Σ	Somatório
δ_p	Desvio Padrão
GPa	Giga Pascal
R	Resistência ao Calor
N	Quantidade de Medições
a_o, a_1, a_2	Parâmetros
k_{aj}	Condutividade Térmica Instantânea Ajustada
$\bar{k}$	Condutividade média Instantânea
f	Distribuição por frequência
a	Aceleração da Gravidade
R_1	Correlação entre Curvas

Índice

Lista de Ilustrações	ix
Lista de Quadros	x
Lista de Abreviaturas	xi
Lista de Siglas	xii
Listas de Nomenclaturas	xii
CAPÍTULO 1	01
Introdução	01
1.1 Objetivo	05
1.1.1 Geral	05
1.1.2 Específicos	05
CAPÍTULO 2	06
Revisão da Literatura	06
2.1 Matéria Prima	06
2.2 Gipsita	06
2.3 Gesso	08
2.4 Madeira	10
2.5 Fibras Vegetais	11
2.6 Não Madeiras – Palmáceas	12
2.7 <i>Mauritia vinifera Martius</i>	13
2.8 Materiais	17
2.9 Método do Fio Quente Paralelo	18
CAPÍTULO 3	20
Materiais e Métodos	20
3.1 Gesso	23
3.2 Métodos	23
3.2.1 Procedimentos para obtenção do Linho	23
3.2.2 Procedimentos para obtenção da Amostra do Linho	24
3.2.3 Caracterização Física da Fibra Vegetal	25

3.3	Compósito de Argamassa de Gesso e Fibra Vegetal	26
3.4	Formas	28
3.4.1	Procedimentos para a Preparação da Amostra	30
3.5	Estruturação dos Trabalhos em Laboratório	32
3.5.1	Índices Físicos	32
3.6	Peso Específico da Amostra Seca	33
3.7	Capacidade Térmica	34
3.8	Calor Específico	35
3.9	Aplicação do Método do Fio Quente Paralelo	37
3.9.1	Arranjo Físico do Método do Fio Quente Paralelo	38
3.10	Calibração do Sistema	38
3.11	Instrumentos de Medição	39
3.12	Programa Experimental	39
3.13	Condutividade Térmica – Método do Fio Quente Paralelo	40
CAPÍTULO 4		42
Análise Experimental		42
4.1	Argumentos para a Análise Experimental	42
4.2	Ajuste dos Resultados	42
CAPÍTULO 5		45
Discussão dos Resultados		45
5.1	Índices Físicos	45
5.1.1	Calor Específico	45
5.2	Discussão	46
5.3	Conclusão	47
CAPÍTULO 6		48
Perfil dos Resultados da Pesquisa		48

6.1	Sugestões para Novos Estudos	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
	APÊNDICE	53
	ANEXO	103

Capítulo 1

Introdução

As questões sobre energia deverão ser vistas como prioridade pelos governos. Os investimentos deverão ser priorizados e as políticas públicas para o setor devem ser de grande alcance. No cenário nacional, o sucateamento dos sistemas e a falta de planejamento estratégico em pesquisa fizeram com que o setor mergulhasse em profunda crise em 2001. A sociedade civil teve de assumir os ônus. A indústria, o comércio e os serviços foram atingidos e a economia do país teve que se ajustar à realidade da crise energética. O apelo à sociedade foi imediato, racionalizar foi a palavra de ordem. Todos foram chamados a uma cruzada nacional, a população brasileira assumiu o compromisso e a crise foi controlada.

O sistema energético nacional é dependente da bacia hidrográfica. Não havendo chuvas, as barragens não acumulam água o suficiente para mover suas turbinas geradoras de energia.

Assim a crise energética desencadeou uma série de decisões no campo da infra-estrutura industrial, dos bens e serviços e na qualificação em gestão de pessoas e dos recursos humanos. Em todas as corporações, a indústria, o comércio e os serviços se modernizaram. Portais foram instalados em rede para venda de seus produtos, a indústria aumentou seus investimentos consolidando mais as pesquisas e buscou-se nas Universidades solução alternativa para os seus setores.

As transformações começaram aparecer pela melhoria das performances dos equipamentos, pela geração de produtos com design que corroboram com os engenheiros e físicos, hoje também envolvidos na geração das idéias de cada produto. Nunca neste país o servo

mecanismo, as máquinas inteligentes, a mecatrônica e a robótica estiveram tão presentes no dia a dia do cidadão.

O Brasil está localizado entre o paralelo 30° Sul e o Equador, em regiões de clima tropical com a predominância de dias quentes e muito quentes no decorrer da maior parte do ano. Neste novo contexto, procura-se desenvolver políticas públicas de modo a consolidar programas e desenvolver projetos no setor de energia. Diante disso, diversificar, equacionar, compartilhar, reciclar são hoje as palavras de ordem.

No traçado urbanístico das cidades, surgiram novos conceitos projectuais na ocupação do solo urbano, na volumetria da arquitetura, no uso adequado do solo, com códigos de posturas municipais, mais preocupados em oferecer subsídios aos profissionais vislumbrando construir uma cidade mais humana para os cidadãos. Neste cenário, é relevante a contribuição das pesquisas desenvolvidas nas Universidades e em Institutos de Tecnologias no que diz respeito à produção de novos materiais compósitos que possam atender as demandas e as necessidades dos setores produtivos, buscando-se a melhoria dos processos industriais com consumo mínimo de energia.

O comportamento térmico das edificações, a adequação para uma arquitetura sustentável compatível ao clima das regiões, e o uso adequado da irradiação solar, a climatização natural dos edifícios são, entre outros, a preocupação de Engenheiros e Arquitetos.

O estudo da geometria da insolação aplicada à arquitetura promoverá a ventilação natural que, é a base fundamental para o conforto térmico de verão, em regiões de clima temperado e de clima quente úmido. “*A arquitetura deve servir ao homem e ao seu conforto e que abrange ao seu conforto*”. O homem tem melhores condições de vida e de saúde quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido à fadiga e ao estresse.

Contextualmente, os Cursos de Arquitetura e as Engenharias já sinalizam para a produção de conhecimentos de natureza sustentável. A exemplo das construções dos séculos XIII a XIX,

que dominava as tecnologias fundamentadas em física básica e instrumental, os construtores deste período nos legaram excelentes soluções em iluminação e ventilação natural nas construções dos casarios destes séculos.

Quanto ao uso de materiais naturais, o mundo já conhece desde o ano 3.000 a. C, as técnicas e as aplicações de recursos naturais nas construções, em particular, o minério da gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). As reservas e a lavra deste minério são do conhecimento de diversos setores da indústria e dos serviços, estando como vanguarda de produção industrial dos países como Canadá, China e Estados Unidos. No contexto nacional, o estado do Maranhão está entre um dos de maiores reservas, sendo o estado de Pernambuco o maior produtor com 84 % da produção nacional.

A produção de compósito com argamassa de gesso e fibra vegetal, *Mauritia vinifera Martius*, como meio moderador de calor nos ambientes das edificações, fundamenta-se nos estudos do gesso e das fibras vegetais claras como materiais de alta resistência à transmissão do calor. A busca de um material compósito com argamassa de gesso e fibra vegetal no uso da construção civil em nossos dias é um contraponto das práticas utilizadas nos séculos XVIII a XIX, quando paredes executadas com pedra, cal e óleo de baleia, de espessuras avantajadas (0.50 a 1,50 m) garantiam a estabilidade das obras e o conforto ambiental das moradias.

A majestosa flora maranhense sofre os mesmos problemas de devastação e se incorpora na produção dos cinquenta por cento de rejeitos da produção de madeiras e fibras do país.

Entre as não madeiras, a Palmeira de buriti-ivan, *Mauritia vinifera Martius* é palmeira mais bela de toda a Amazônia, por sua estatura esguia, de frutos comestíveis, avermelhados e luminosos, coroada por uma copa soberba de folhas palmadas que chegam até 6 metros de comprimento, depois das gramíneas, as palmeiras são as plantas que mais prestam utilidade ao homem. Este autor cita que dos seus diferentes órgãos vegetativos se extraem proteínas, amidos, óleos, manteiga, açúcar, frutos, e sementes comestíveis, palmito, madeira, fibras para vestuários,

cordoaria, redes, resinas, gomas, cera, vinho (sucos) e uma gama de utensílios de uso doméstico nas zonas rurais.

Se, as palmeiras se encontram num campo de disputa entre botânicos e taxionomistas para melhor classificá-las, o mesmo não se pode dizer quando à pesquisa em ciência e tecnologia como fonte de insumo e como matéria-prima disponível e versátil em diferentes campos da industrialização no país. Não há na literatura científica disponível, informações que tenham métodos e técnicas confiáveis que possam agregar valor de mercado aos produtos que utilizam este recurso natural.

Na região Amazônica inclui, em palmeiras, uma área de 6,5 milhões de quilômetros quadrados de extensão, estimando-se: trinta e quatro gêneros e cento e oitenta e nove espécies e variedades; o Brasil é considerada a pátria das palmeiras americanas.

A fibra vegetal utilizada como componente do compósito é uma fibra de cor branca retirada da parte adaxial do broto da folha da palmeira de Buriti-ivan, denominada pelos nativos da zona rural do estado do Maranhão de linho. A produção de um compósito com argamassa de gesso e o linho deverá ser utilizado na construção civil como isolante térmico para a melhoria do conforto ambiental dos edifícios.

A presente pesquisa objetiva encontrar alternativas na produção de um material compósito, utilizando-se matéria-prima natural com misturas em peso, que utilizado como isolante térmico atenda o requisito conforto ambiental nos edifícios. O compósito de argamassa de gesso e fibra vegetal de buriti-ivan deve apresentar característica diferenciada das encontradas no gesso e na fibra vegetal de M.v.M, quando estudadas individualmente. A análise da característica do material será convalidada com os resultados obtidos em laboratório.

Na experiência foi utilizado o Método do Fio Quente Paralelo – **ISO 8894 - 2**, utilizando-se uma fonte elétrica geradora de calor, que inferirá a temperatura em função do tempo de exposição que as amostras são submetidas. A partir destas medições serão determinadas as condutividades térmicas instantâneas das amostras.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Contribuir para o Conforto e Condicionamento Ambientais dos Edifícios através de uma proposta do uso de argamassa de gesso e fibra vegetal, *Mauritia vinifera Martius*, como matérias – primas para a fabricação de um produto Compósito de baixa condutividade térmica que possa ser utilizado como revestimento, enchimentos de tetos e parede, na forma de placas premoldadas.

1.2.2 Específicos

- Realizar estudos sistemáticos com vistas ao desenvolvimento de um produto compósito, tendo como matérias primas a argamassa de gesso e fibra vegetal, *Mauritia vinifera Martius*, palmeira de buriti-ivan, visando a redução da condutividade térmica da argamassa de gesso e,
- Indicar as melhores formas de aplicação deste compósito como isolante térmico na Construção Civil.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

2.1 Matéria Prima

O mais antigo emprego da gipsita foi em obras artísticas. O alabastro era utilizado pelas civilizações antigas em esculturas e ornamentações. Os egípcios usaram gipsita como argamassa na construção de pirâmides há mais de 3000 a. C e os romanos a utilizaram em pequenas quantidades no acabamento de construções. No início do século XVIII, a gipsita começou a ser utilizada na Europa como corretivo de solos. Nos Estados Unidos, a calcinação da gipsita para emprego na construção civil começou em 1835, mas o processo de calcinação só se desenvolveu por volta de 1885, com a descoberta de um método comercial para retardar o tempo de pega da argamassa de gesso.

O desenvolvimento industrial de cimento, cuja fabricação requer adição da gipsita calcinada ao “clinker” utilizado nos percentuais de 2 % a 5 % para retardar o tempo de pega que possibilitou um grande aumento de consumo deste mineral. A indústria da construção civil é, atualmente, a maior consumidora de produtos em que a gipsita é utilizada como matéria prima.

2.2 Gipsita

A rocha gipsita é um mineral abundante em todo mundo, no Brasil, utilizam-se 61 % para produção de placas, 10,9 % como agregados para construção civil. O Departamento Nacional de Produção Mineral DNPM (2001) registra em seu Sumário Mineral, que a reserva brasileira é de $1.240.720 \times 10^3$ toneladas e que a lavra é de 1.4 % da lavra mundial. A evolução da Lavra foi de

30.90 % para o biênio 1998/1999 e para o biênio 1999/2000 é de 68.41 %, havendo, portanto um crescimento significativo de 120,50 % para o período DNPM (2001).

A produção interna evidencia que, em 2000, o consumo setorial da gipsita exibiu a predominância do segmento da calcinação representado pelo gesso de 55 % sobre o segmento cimenteiro, que foi de 44 %, e uma pequena participação do gesso agrícola, na ordem de 1 %, DNPM (2001). Quanto ao aspecto do segmento calcinação, este segmento se distribui quanto ao uso: 61 % para fundição de placas; 35 % para revestimentos; 3 % para moldes cerâmicos e 1 % para outros usos.

No mercado internacional, os E U A é o maior produtor e consumidor mundial de gipsita, sua produção em 1999, foi na ordem de 19.4 milhões de toneladas e em outros países, incluindo o Brasil, foi de 9.7 milhões de toneladas. As reservas brasileiras estão assim concentradas: Bahia com 44 %; Pará com 31,5 % e Pernambuco com 18,8 % , ficando os restantes 5,7 % distribuídos entre os estados do Maranhão, Ceará, Rio Grande do Norte, Piauí, Tocantins e Amazonas, DNPM (2001).

A fórmula química da gipsita é $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, tem composição de 46,6 % de sulfato de Cálcio hidratado, 32,5 % de óxido de cálcio (CaO), e 20,9 % de água (H_2O). As principais variedades são: *espato acetinado*, fibroso, com brilho sedoso; *Alabrasto*, variedade maciça e transparente, usado em escultura e a *selenita*, cristais com clivagem larga, incolores e

transparentes. A cristalografia é do tipo monoclínico e sua classe é prismática. Associa-se com calcários, folhedos, margas e argilas. Como propriedade diagnóstica é de baixa dureza, solúvel em HCL diluído a quente.

Ocorrência – forma-se nos evaporitos, normalmente como produto de hidratação da anidrita, fumarolas, decomposição (oxidação) de sulfatos e veios hidrotermais sulfetados de baixa temperatura e pressão. Por aquecimento – calcinação - perde água, formando a 128 ° C, o gesso.

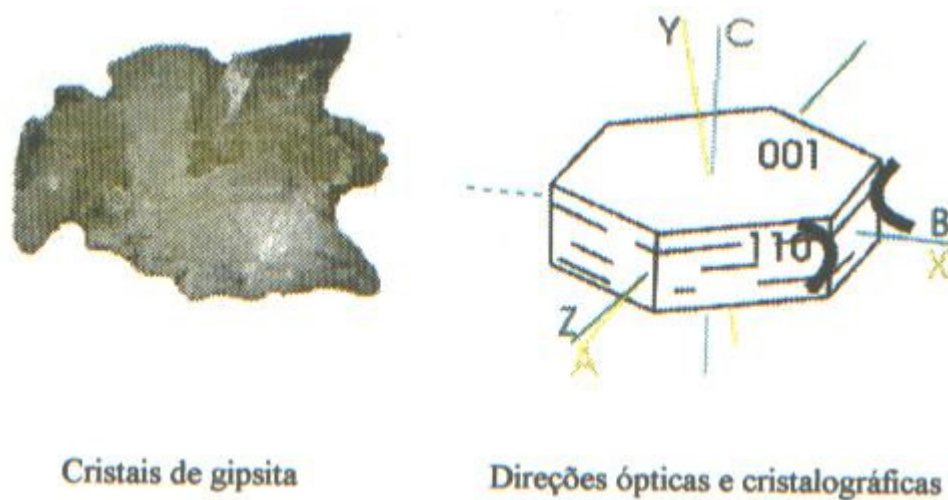


Fig. 2.1 – Cristais de Gipsita

A gipsita calcinada é utilizada para moldes cerâmicos, odontológicos e protéticos, estatuetas, estuques, fabricação do ácido sulfúrico e cimento Portland, para neutralizar o excesso de cloreto de sódio nas terras cultiváveis, para reduzir a velocidade de pega nos cimentos Portland, cargas para papel e tintas, fundente de minério de níquel, purificação de água para fabricação de cerveja. Quando na forma maciça compacta, na fabricação de cimento, na ortopedia, na oftalmologia e na construção civil, em uso geral. A gipsita na forma de alabastro é usado para fins ornamentais, incorporado na fabricação de cimentos, em fornos, em ortopedia, na oftalmologia e construção civil.

2.3 Gesso

O gesso é obtido pela calcinação da gipsita natural de composição mineralógica formada por sulfato bi hidratado de cálcio, na ordem de 94 % e de 6 % de sílica, alumina, óxido de ferro, carbonato de cálcio e magnésio que constituem impurezas do minério.

A desidratação da gipsita é realizada tomando como padrão as pressões correntes compatíveis aos níveis de temperaturas de calcinação. A operação de calcinação a 128 ° C resulta na forma de aglomerantes denominados de gesso.

A calcinação conduz à formação de sulfatos no intervalo de 100° C a 180° C. São obtidos os semi-hidratados - $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ - denominados de alfa e beta; para temperaturas compreendidas entre 180° C a 300° C, são produzidos os sulfatos solúveis (CaSO_4); em temperaturas superiores a 300° C, o sulfato anidro insolúvel.

Os semi-hidratados e os sulfatos anidros solúveis em presença da água, em temperatura corrente, produzem rapidamente o sulfato biidratado. A mistura sulfato anidro-solúvel e água produzem uma malha instabilizada que é responsável pela coesão da mistura, este fenômeno é conhecido como pega do gesso e é acompanhada de elevação de temperatura por ser a hidratação do sulfato anidro-solúvel uma reação exotérmica. Os gessos de elevada finura desenvolvem o processo de cristalização em maior velocidade, portanto, tem pega mais rápida e atingem maiores resistências pelo aumento da superfície específica disponível para a hidratação.

Os fatores que influenciam na formação da cristalização do sulfato anidro-solúvel são: temperaturas superiores a 300 ° C, fator de hidratação água/gesso diferente de 0,23. O uso de aditivos retardador-aceleradores de pega tais como: cola, serragem fina de madeira, sangue animal, e outros produtos de matadouros usados na proporção de 0,5 % a 1 %, adição de cloreto de sódio e cal hidratada a 15%, BAUER (1974).

O gesso possui resistência mecânica à tração na ordem de 0,7 a 3,5 Mpa e à compressão entre 5 à 15 MPa, apresenta boa aderência às alvenarias de pedra e de tijolos cerâmicos e mal às madeiras, boa aderência ao ferro, embora havendo compatibilidade físico-químico entre estes dois materiais, devido a instabilidade do sulfato anidro-solúvel que produz a corrosão do metal. Duas outras propriedades importantes do gesso são: isolamento acústico e o isolamento térmico, tendo como condutividade térmica o valor 0,53 W/m.°C para a argamassa de gesso e de 0,35 W/m.°C em forma de placas, FROTA & SCHIFFER (2001). A dureza das placas de gesso pode

ser melhorada quando após a pega, realiza-se a imersão das placas em uma solução de alumem a 20 %, ou empasta-se a placa endurecida com solução de carbonato de tartarato de potássio. O sulfato anidro insolúvel não é suscetível a hidratação rápida, sendo praticamente inerte e, por este motivo, é usado como carga no cimento.

2.4 Madeira

As árvores se desenvolvem em função do clima, da qualidade do solo, e do número de espécies que formam seu habitat. As árvores quando abatidas e trabalhadas industrialmente tomam o nome de madeira. Na composição natural das madeiras são encontradas: 50 % de celulose, 30 % de linina e 20 % de resinas, amidos e açúcares. Dos 94,5% de componentes orgânicos, são encontrados 46 % de carbono, 37,5 % de oxigênio, 1 % de amônia e 10 % de corpos simples como fósforo, enxofre, composto de potássio, sódio lítio alumem e cal.

As árvores produtoras de madeira para o uso corrente são do tipo exógeno que se caracteriza pelo crescimento das camadas externas sob a casca. A seção transversal de um tronco revela as seguintes camadas de fora para dentro: albuno ou branco da madeira, cerne, durâmem e medula, E. P. S (1988).

Os principais componentes resistentes da madeira são as fibras longitudinais formadas por células ôcas e alongadas com diâmetro na ordem de 10 a 80 micras, comprimento de 1 a 8 milímetros. As fibras radiais ou raios medulares são formados por grupos de células dirigidas da medula para a periferia do tronco com a função de promover a circulação da seiva.

Das propriedades físicas destaca-se a condutividade térmica na ordem de 0,16 W/m.°C, BAUER (1974), com maior intensidade na direção longitudinal das fibras; entre as propriedades mecânicas especiais destacam-se as propriedades térmica e acústica.

A madeira é um excelente material isolante graça à descontinuidade de sua matéria: as madeiras de cor branca são menos densas, portanto, apresentam mais porosidade e menos

condutoras térmicas e as de cor escuras, mais densas, menos porosas, e, portanto, mais condutoras de calor. FROTA & SCHIFFER (2001), indicam em seu **Manual de Conforto Térmico** que as “fibras de madeira brancas apresentam 0,06 W/m.°C.

2.5 Fibras Vegetais

A Inglaterra foi o primeiro país que sistematizou o estudo das fibras como carga nas argamassas em 1970, HOLMER (2000) O Brasil inicia as pesquisas com fibras vegetais, no estado da Bahia por volta de 1980, cabendo a iniciativa ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento - Ceped. HOLMER (2000), cita AGOPYAN (1991), em seu abrangente trabalho a respeito do emprego de fibras vegetais como reforço de matrizes; relacionou dezenove fibras potencialmente úteis para construção civil – (Quadro 22), buscando conhecer as propriedades mecânicas (resistência à tração, módulo de elasticidade e alongamento na ruptura), características físicas e relação entre comprimento e diâmetro.

Em argamassa de cimento o uso das fibras de côco (*cocos Nucifera*) e sisal (*Agave Sisalana*); o primeiro pelo resíduo (lixo) e o segundo pelo baixo custo, foram estudadas por AGOPYAN (1991) citado por HOLMER (2000) como fibras utilizadas em reforços nas argamassas. (Quadro 22), para uso na construção civil.

[...]As fibras são constituídas por células individuais que por sua vez, compõe-se de microfibrilas dispostas em camadas diferentes, espessura e ângulos de orientação. As microfibrilas são ricas em celulose, polímero vegetal de cadeias longas (grau de polimerização da ordem de 25 000), e estão aglomeradas por hemicelulose amorfa (grau de polimerização entre 50 e 200). As células da fibra têm de 10 µm a 25 µm de diâmetro [...] (HOLMER, 2000)

E, segundo HOLMER op.cit COUTTS (1992), são quatro as camadas de microfibrilas: (i) camada externa formada de uma estrutura reticulada; (ii) camada secundária S_1 , também reticulada; (iii) a camada secundária S_2 , em que as microfibrilas estão orientadas segundo um ângulo Θ , com relação ao eixo longitudinal da célula em espiral e (iv) camada secundária S_3 , mais interna, também com as microfibrilas em forma de espiral. A camada S_2 é a de maior espessura e, também, a de maior teor de celulose. No interior da célula, há uma cavidade central

de seção elíptica, com dimensão de 5 µm a 10 µm, denominado lúmen. SHIMIZU; JORILLO Jr. (1992), op. cit por HOLMER (2001),

[...] analisaram profundamente a estrutura das fibras de coco e afirmaram que cada uma delas pode conter desde 30 até mais de 200 células individuais. Esses pesquisadores registram a presença de protuberâncias na superfície lateral das fibras, com diâmetro de 8 µm a 15µm, que podem incrementar aderência com matrizes frágeis [...]

Em toda literatura, o uso da fibra vegetal, *Mauritia vinifera Martius*, não é citada como carga em argamassa nem como componente de compósitos.

2.6 Não Madeiras – Palmáceas

CRONQUISTE (1981) afirma que existem 150 gêneros e 3.500 espécies, enquanto que BENTHAM, G e HOOKER (1862), citados por MOSCOSO (1945), afirmam que só existem 1.500 espécies, KAHN (1992), afirma por sua vez, que a família das palmeiras compreende um pouco mais de 200 gêneros e 2.800 espécies. HENDERSON (1994) afirma que são aproximadamente 200 gêneros e 550 espécies ocorrem naturalmente nas Américas.

Quanto à quantidade de gêneros e de espécies que existem, os autores são contraditórios. O mesmo não se pode afirmar quanto à pesquisa em ciência e em tecnologia para melhor aproveitá-las como matéria-prima disponível em diferentes campos da industrialização no Brasil, PEREIRA (2001).

[...] Pouco se têm estudado sobre palmeiras, a literatura existente é insuficiente na área de exploração tecnológica, havendo escassa referência bibliográfica que indiquem procedimentos de uso, métodos e técnicas para aplicações diversas em engenharia. As palmáceas são utilizadas como matéria prima para produtos artesanais em palha, com baixa contribuição na escala comercial [...] PEREIRA (2001).

Porém há, reconhecimento econômico por autores SILVA (1991), entretanto, não existe linhas de pesquisas nesta direção que possam agregar valores a esta matéria-prima. Está inserida neste cenário a pesquisa científica desenvolvida pelas Instituições de Nível Superior.

2.7 *Mauritia vinifera Martius*

No Brasil, ocorre nos estados do Amazonas, Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Pará, Piauí, São Paulo, Tocantins e Acre. LORENZI (1996), op. Cit por PEREIRA (2001). A *Mauritia vinifera Martius*, palmeira de buriti-ivan é uma espécie que ocorre em terrenos alagados, igapós, delta e em margens de rios, ilhas, estuários, onde se encontra grande concentração e até em região de cerrado no Ceará. SILVA (1991) cita descrições detalhadas das regiões onde ocorrem a Palmeira de Buriti-ivan, *Mauritia vinifera Martius*, em todo Brasil. Fora do Brasil encontramos a palmeira do buriti-ivan no Equador, Venezuela, Panamá, Jamaica, Costa Rica, Nicarágua, Bolívia, Colômbia e Peru.

A classificação desta espécie segue a classificação das palmeiras Americanas dada por HENDERSON, GALEANO e BERNAL (1975) em sua obra de referência. A classificação botânica assim se apresenta:

- **Reino:** Vegetal
- **Divisão:** *Magnóliophyta*(=*Angiospermae*)
- **Classe:** *Liliopsida*(=*Monocotyledoneae*)
- **Subclasse:** *Arecidae*(=*Espadiciaflorae*)
- **Super-Ordem:** *Arecanae*
- **Ordem:** *Arecales*(=*Príncipes*)
- **Família:** *Arecaceae*(=*Palmae*)
- **Sub-família:** *Calamoideae*
- **Tribu:** *Lapidocaryeae*
- **Gênero:** *Mauritia*
- **Espécie:** *Mauritia vinifera Martius*

Diversas são as denominações dadas à palmeira de buriti-ivan, *Mauritia vinifera* Martius, :*Mauritia flexuosa* Linnaeus filius Glassman (1972), *M setigera* Grisebach & Wendland, *M. spherocarpa* Burret, *M. minor* Burret, *M. Fvar.* Venezuela Steyermark Glassman (1972).

Em cada país, a palmeira de buriti-ivan assume nomes comuns, tais como:

Buriti (do tupi: mburiti), buriti-do-brejo, coqueiro-buriti, buritizeiro, boriti, moriti, miriti, muriti, murintim, muritizeiro, muriti, palmeira-dos-brejos, caradá-guaçu, carandaí-guaçu, carandá-guassu, carandaí-assu, carandaguaçu (Brasil); moriche (Venezuela), (Trindad); ita (Guyana); palmier bâche (Guiana Francesa); achual, aguaje, auashi, bimón, buritisol, mariti, moriche (Peru), caranday-guazu, ideuí (Bolívia; canaguche, chomyia, ideuí, mariti, moriche - Colômbia), CLAY, SAMPAIO, CLEMENT (2000); LORENZI (1996); SILVA (1991). Notas e comentários de João Francisco de Souza, no livro d`LISBOA (1968) “*História dos Animais e Árvores do Maranhão*”, escrito por volta do século XVII, o nome Morety, como corruptela da expressão tupi mbyryty: árvore que líquido emite, nome que os selvagens aplicavam às palmeiras do gênero *Mauritia* ABBEVILLE (1945) chama a palmeira de buriti, nome mais conhecido e difundido no estado do Maranhão, de buriti-ivan.



Fig. 2.2 –Vegetação Ciliar –Aspecto Geral
Fonte: NTMf/DE.DET-UFMA

[...] Tronco solidário, ereto, podendo atingir até 30 metros de altura e entre 23 a 50 centímetros de diâmetro. Sua coroa é composta de 10 a 20 folhas grandes e palmadas, medindo de 5 a 6 metros de comprimento de eflorescência interfoliar. Os frutos são subglobosos a elípticos, variando de 4 a 5 centímetros de diâmetro por 5 a 7 centímetros de comprimento, coberto por escamas córneas de cor castanho-avermelhado. O mesocarpo é suave e sua cor varia do laranja ao laranja avermelhado, devido ao caroteno,. O endocarpo é rico em celulose LORENZI (1996) .;CLAY; SAMPAIO; CLEMENT (2000) op. Cit. PEREIRA (2001) [...]



Fig. 2.3 – Palmeira de Buriti-Buriti-ivan - Copa
Fonte:NTMf/DE.DET-UFMA

Do mesocarpo (polpa) do fruto extrai-se o vinho-de-buriti, cujo preparo e consumo se assemelha ao açaí (*Euterpe deracea*), a polpa além de conter apreciável teor de vitamina C é também fonte de provitamina A com alto teor de caroteno SILVA (1991); dela também pode ser feita o doce-de-buriti, iguaria produzida artesanalmente nos estados do nordeste brasileiro. Os pecíolos fornecem material leve, macio, utilizado em artesanato. A espécie tem uso ornamental e paisagístico LORENZI (1996). Dos brotos das folhas, por corte adaxial, retira-se o linho que é utilizado na confecção de bolsas, rede, chapéu-de-palha, entre outros produtos artesanais, produzidos, principalmente, no município de Barreirinhas, no estado do Maranhão FREIRE (1996); PEREIRA; LOBO (1994).

A historiografia da palmeira de buriti-ivan consiste em utilizar o linho como matéria-prima para uso artesanal CARVALHO (1986) & PEREIRA (2001) se manifestam sobre carência de pesquisa utilizando a *Mauritia vinifera Martius*, como aporte tecnológico e científico. Ao estudar a modelagem de placas de gesso e fibra-linho da folha de buriti-ivan para fins de conforto térmico na construção civil é, então, o estado da arte do trabalho. Desenvolver estudos laboratoriais com amostras padronizadas pela **ISO 8894-2** e percentagens de fibras de M.v.M diferenciadas, com o objetivo de caracterizar um material compósito alternativo a ser aplicado como painéis ou como revestimento que possa contribuir para a redução do calor no interior das edificações.

2.8 Materiais

Reforçar o gesso com fibras vegetais utilizando o sisal e casca de coco é um estado da arte confirmado na produção de compósitos. No entanto, é muito importante os “condicionamentos destas fibras na matriz gesso, pois o endurecimento da matriz – fibra pode não ocorrer em ambientes com teor de umidade considerável, o gesso como material higroscópico pode levar à incompatibilidades entre essas matérias-primas, <mailto:vahan.agopyan@poli.usp.br> – 27 de novembro de (2002).”

SILVA (1991) trabalhando com compósito na área de Design Comunitário, indica como material alternativo o pecíolo da folha da palmeira de buriti-ivan – talo da folha da *Mauritia vinifera Martius*, como matéria prima utilizada como material de construção, propondo injeção de resina de poliéster para aumentar a resistência mecânica do compósito.

[...] Resíduos fibrosos provenientes da Agroindústria sisaleira, de banana e de polpa celulósica de eucalipto, são apresentadas como matéria – prima de reforço de matrizes cimentícias alternativas à base de escória moída de alto-forno. O processo de produção da mistura envolveu o uso de betoneira seguida de adensamento por vibração e cura ao ar saturado. O compósito obtido revelou propriedades físicas e mecânicas aceitáveis nas primeiras idades[...] HOLMER (2000).

SILVA e LOBO (1994) propõem o aproveitamento do rejeito, pó de serragem da madeira, e propõem a mistura com argamassa gesso na fabricação de painéis a serem utilizados na construção de casas a baixo custo. O compósito, segundo os autores, reduzirá o custo de produção e de construção de casas populares. PEREIRA (2001) desenvolveu pesquisa com compósito com o linho do material foliar da *Mauritia vinifera Martius* e *Bactris inundata Martius*, respectivamente palmeiras de buriti e de tucum, e concluiu que as matérias-primas apresentam boas características tecnológicas para a produção de celulose.

AGOPYAN; NOLASCO (1998); SWAMY (1988), citados por HOLMER (2000) apresentam quadro sobre fibras vegetais utilizadas na construção civil, ditas “Experiência Brasileira”(Quadro 22). Cita os autores as principais fibras utilizadas na construção civil, ora como carga de reforço das argamassas e ora como reaproveitamento de rejeito residual; destaca-se entre as fibras experimentadas: coco (*cocos nucifera*); sisal (*Agave Sisalana*); malva (*Urena lobato*); celulose para papel de imprensa (*Pinus elliottii* – prima); bambu (*Bambusa vulgaris*); juta (*Corchorus capsularis*); piaçaba (*Attalea funifera*); banana (*Musa convendishrii*); amianto crisólita e polipropileno comum (*Filam*).

O estudo da flora e o dos recursos minerais, bem como as suas aplicações, necessitam ser priorizadas como Políticas Públicas. Investimentos em pesquisas utilizando estes recursos para a geração de energias alternativas, seria o desejável.

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia-INPA em sua revista de pesquisa: “do manejo desorganizado da floresta brasileira cinquenta por cento vira rejeito”.

O Instituto Nacional de Pesquisa Mineral - DNPM não dispõe de investimentos necessários para desenvolver pesquisa de prospecção de modo a disponibilizar à sociedade um mapeamento real das potencialidades dos recursos minerais do país. a produção de novos saberes ainda são vislumbradas por poucos sonhadores como os aqui citados.

2.9 Método do Fio Quente Paralelo

O método do fio quente, HAUPIN (1960), citado por SANTOS (1988) é utilizado na determinação da condutividade térmica de materiais cerâmicos. É uma técnica experimental com grande aplicação na França, Japão e Alemanha e pouco usada nos Estados Unidos. O método é

aplicável até à temperatura de 1250 °C, para materiais cuja condutividade térmica seja menor a 25 W/mK. O método não é aplicável a materiais condutores de eletricidade. (ISO 8894-2, 1990).

Com uma fonte de calor ideal, ligada a um fio metálico, com resistência de $1,7 \, \Omega$, fino e alongado de seção circular, mergulhado na amostra do compósito que se pretende determinar a condutividade térmica. “Ao passar uma corrente elétrica constante através do fio, uma quantidade constante de calor, por unidade de tempo e por unidade de comprimento é liberada pelo fio e vai se propagar através do material.” (SANTOS (1988).

Paralelo ao fio quente e a uma distância determinada (Fig. 3.8) e fixa, mergulha-se um termopar tipo **K** (Chromel/alumel – 90 Ni-Al, Mn, Fe, Si, Co) que é ligado a uma Placa de aquisição de sinais, com sensibilidade de 2 mV/cm e com resolução de tempo maior que 0,5 segundos, fornece ao microcomputador as medidas de temperaturas na unidade de tempo, para o conjunto ensaiado. O valor da condutividade térmica é determinado para as temperaturas obtidas para o dobro do tempo, equação (3.12).

Capítulo 3

Materiais e Métodos

As amostras do compósito foram fabricadas com argamassa de gesso e fibra vegetal, *Mauritia vinifera Martius* – fibra de buriti-ivan, em proporções definidas por peso de cada amostra, moldadas em formas com dimensões (230 mm x 114 mm x 64 mm) - Padronização Internacional: **(Norma ISO – 8894- 2, 1990) - Parte 2.**

A fibra vegetal utilizada na amostra do compósito foi retirada dos brotos das folhas da espécie nativa *Mauritia vinifera Martius*, coletada no Município de Barreirinhas, localizado na Baixada Ocidental Maranhense. Os brotos foram colhidos ao acaso nos dias 8 a 11 de março de 2004, de quarenta palmeiras de buriti-ivan (*Mauritia vinifera Martius*), adultas e de idade não determinada.



Fig. 3.1 – Local de Amostragem
Fonte: Guias Philips (1999) - NTMf



Fig. 3.2 – Coleta da Folha de Buriti - ivan
Fonte:NTMf/DE.DET-UFMA

A coleta dos brotos foi realizada na forma manual, e a partir destes retira-se o linho, película da porção material da face adaxial da folha da palmeira de buriti-ivan.



Fig. 3.3 – Retirada do Linho – Buriti-ivan
Fonte: DTMf/DE.DET-UFMA

3.1 Gesso

Matéria prima originária do minério gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), calcinado à temperatura de $128^\circ \pm 5^\circ \text{C}$, utilizado em larga escala em obras de construção civil. O produto foi adquirido na Praça de São Luís, neste Estado, em sacos de 50 quilos.

3.2 Métodos

3.2.1 Procedimentos para obtenção do Linho

- a) Tirar o brolho da palmeira.

- b) Retirar o linho fazendo uma cisão a faca na parte adaxial da folha da M.v.M.
- c) Realizar cozimento do linho por duas horas.
- d) Secar o linho ao ar livre e à sombra por dois dias.
- e) Acondicionar o linho em sacos de ráfia.



Fig. 3.4 – Secagem do Linho da Folha do Buriti - ivan
Fonte: NTMf/ DE.DET-UFMA

3.2.2 Procedimentos para obtenção da Amostra do Linho

Após a secagem, o linho é submetido aos seguintes procedimentos:

- a) Das fibras são produzidos cavacos de comprimento de 5 a 10 mm, com auxílio de uma tesoura.

- b) Os cavacos são aquecidos a uma temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ em estufa de secagem marca FANEM, modelo 315 – SE, com variação de temperatura calibrada para o intervalo de 0° a 110°C .
- c) Os cavacos são transformados em serragem através do emprego de um moinho elétrico de lâminas, TECNAL, modelo TE - 340.
- d) A serragem utilizada será aquela que atravessou por via úmida a peneira de malha 100 mesh e retida na de malha 200 mesh (A.S.T.M).
- e) A serragem é pesada, utilizando balança digital tipo AS-2000, da marca MART, na proporção segundo a indicação da (Quadro – 3.1).
- f) A pesada é acondicionada em saco plástico

O limite para a utilização de peneiras é estabelecido pela *Lei de Stokes* que estabelece uma relação entre o diâmetro da partícula e sua velocidade de sedimentação em um meio líquido de viscosidade e peso específico conhecido. A *Lei de Stokes* é válida para partículas menores a 0,20 mm de diâmetro e maiores que aquelas afetadas pelo movimento browniano, isto é 0,2 micron, CAPUTO (1974). A análise da amostra será em sólido denso, por via úmida, sem haver decantação. Portanto, a análise independerá do estudo dos diâmetros das partículas dos materiais que constituem a amostra do compósito.

3.2.3 Caracterização Física da Fibra Vegetal

“A densidade básica da fibra vegetal foi calculada em corpos de prova em triplicata pela relação entre a massa seca da amostra determinada em estufa à temperatura de $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ até o peso constante e seu volume saturado, conforme procedimentos preconizados por” AZZINI, SALGADO e TEXEIRA (1981): citados por PEREIRA (2001).

3.3 Compósito de Argamassa de Gesso e Fibra Vegetal

A mistura entre o gesso e a fibra vegetal (pó da fibra retida na malha 200 Mesh), com retenção de 78,57 %, (Quadro 21), foi homogeneizada por agitador mecânico, marca RODOTEST, por via úmida, auxiliada com espátulas, nas quantidades indicadas no (Quadro 3.1). Segundo D`AMBRÓSIO e D`AMBRÓSIO (1977), mistura é a reunião de duas ou mais matérias-primas, que guardam entre si um título. Define-se título de uma mistura a razão entre a matéria-prima de maior peso e o peso total da mistura.(Quadro 3.1).

$$t_1 = \frac{P_{\text{gesso}}}{(P_{\text{gesso}} + P_{\text{fibra}})} \quad (3.1)$$

A determinação dos pesos das amostras de argamassa de gesso com M.v.M foi a partir da amostra padrão de 230 x 114 x 64 mm, em equilíbrio com ambiente, aferido com uma balança digital tipo AS – 2000, marca, MART. (Quadro 3.1).

Quadro 3.1 - Peso dos Compósitos e dos Materiais – Gesso e Fibra Vegetal – M.v.M

PERCENTUAIS - %		PESO DOS MATERIAIS		PESO DOS COMPÓSITOS SECO (g)
GESSO	FIBRA – M.vM	FIBRA – M.v.M ÚMIDO (g)	GESSO ÚMIDO (g)	
100	0	0,000	1.945,500	1.945,500
98	2	38,910	1.906,590	1.835,250
95	5	97,275	1.848,225	1.731,000
93	7	136,185	1.809,315	1.594,300
90	10	194,550	1.750,950	1.583,100
88	12	233,460	1.712,040	1.497,350
85	15	291,225	1.653,675	1.191,800
82	18	350,190	1.593,310	1.126,700
80	20	389,100	1.556,400	1.003,800
78	22	428,010	1.517,490	945,900
75	25	486,375	1.459,125	898,990
73	27	525,285	1.420,215	856,050
70	30	583,650	1.361,850	768,250
65	35	680,925	1.264,575	723,550
63	37	719,835	1.225,665	666,550
60	40	778,200	1.167,300	656,550

Os títulos calculados pela equação (3.1), e apresentados no (Quadro 3.2), só dependem da proporcionalidade entre os materiais.

Quadro 3.2 – Títulos das Amostras

PERCENTUAIS - %		PESO DOS MATERIAIS		TÍTULOS DAS AMOSTRAS
GESSO	FIBRA – M.v.M	FIBRA – M.v.M ÚMIDO (g)	GESSO ÚMIDO (g)	
100	0	0,000	1.945,500	1,00
98	2	38,910	1.906,590	0,98
95	5	97,275	1.848,225	0,95
93	7	136,185	1.809,315	0,93
90	10	194,550	1.750,950	0,90
88	12	233,460	1.712,040	0,88
85	15	291,225	1.653,675	0,85
82	18	350,190	1.593,310	0,82
80	20	389,100	1.556,400	0,80
78	22	428,010	1.517,490	0,78
75	25	486,375	1.459,125	0,75
73	27	525,285	1.420,215	0,73
70	30	583,650	1.361,850	0,70
65	35	680,925	1.264,575	0,65
63	37	719,835	1.225,665	0,63
60	40	778,200	1.167,300	0,60

3.4 Formas

As amostras foram moldadas em formas de alumínio e madeira obedecendo as dimensões padronizadas pela **ISO 8894-2, Parte 2**. (Quadro 3.3).

Quadro 3.3 – Dimensões da Forma: ISO – 8894 – 2

D I M E N S Õ E S		
COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)
230	114	64



Fig. 3.5 – Formas das Amostras – Alumínio e Madeira

A homogeneização da argamassa foi realizada por processo mecânico, em cuba plástica, utilizando uma batedeira de bolo Walita – modelo R- 3164, 220 volts de baixa rotação, com fator de: $A/G = 0.23$.

3.4.1 Procedimentos para a Preparação da Amostra

- a) Untar a forma com vaselina.
- b) Lançar a argamassa homogeneizada na forma, sem proceder a vibração mecânica.
- c) Regularizar a superfície da amostra com régua metálica.
- d) Desformar a amostra após trinta minutos.
- e) Secar inicial ao ar livre, em jirau ou prateleira protegida por cobertura.
- f) Secar em estufa calibrada até 110°C , por doze horas
- g) Embalar as amostras em sacos plásticos.



Fig. 3.6 – Vista Geral das Amostras

3.5 Estruturação dos trabalhos em laboratório

No Laboratório de Bromatologia da Universidade Federal do Maranhão foram realizadas a secagem, a moagem e o peso dos agregados; nos laboratórios de Solos do Departamento de Expressões Gráficas e Transportes e no Laboratório de Materiais, do Departamento de Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão foram calculados os índices físicos e as temperaturas das amostras.

3.5.1 Índices Físicos

CAPUTO (1974) define teor de umidade como sendo a razão entre o peso da água contido no volume da amostra e o peso da amostra após a secagem em estufa; e índice de vazios: a razão entre o volume de vazios e o volume da parte sólida da amostra equações (3.3), e, porosidade é dada pela equação (3.4). Para a determinação dos índices físicos, a estufa deve estar a $105 \pm 3^\circ C$, (Quadro 3.4).

$$h(\%) = \left(\frac{P_a - P_s}{P_a} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

$$\varepsilon = \frac{V_v}{V_s} \quad (3.3)$$

$$n(\%) = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon} \quad (3.4)$$

3.6 **Peso Específico da Amostra Seca**

O peso específico de uma amostra é determinado em função do peso pelo volume total, da amostra, daí termos a relação.

$$\rho = \frac{p_t}{v_t} \quad (3.5)$$

Quadro 3.4 – Resultados - Índices Físicos das Amostras

AMOSTRA	% M.v.M	PESO DA AMOSTRA		TEOR DE UMIDADE (h%)	PESO ESPECÍFICO Kg/cm ³	ÍDICE DE VAZIOS (ε%)	POROSIDADE (η%)
		AMBIENTE	SECA				
A ₀	0	2.036,32	1.945,50	4,66	1,213	4,62	4,42
A ₂	2	1.840,10	1.835,25	0,26	1,096	0,21	0,21
A ₅	5	1.739,05	1.731,00	0,46	1,036	0,43	0,43
A ₇	7	1.597,45	1.594,30	0,19	0,951	0,17	0,18
A ₁₀	10	1.587,80	1.583,10	0,29	0,946	0,27	0,35
A ₁₂	12	1.502,35	1.497,35	0,33	0,895	0,30	0,30
A ₁₅	15	1.214,25	1.191,80	1,88	0,723	1,79	1,77
A ₁₈	18	1.165,65	1.126,70	3,45	0,694	3,36	3,25
A ₂₀	20	1.079,95	1.003,80	7,58	0,643	7,49	6,97
A ₂₂	22	968,35	945,90	2,37	0,577	2,36	2,30
A ₂₅	25	936,34	898,99	4,15	0,557	3,97	3,81
A ₂₇	27	881,80	856,05	3,00	0,525	2,91	2,83
A ₃₀	30	793,40	768,25	3,25	0,472	3,09	2,98
A ₃₅	35	745,55	723,55	3,04	0,444	2,97	3,13

3.7 Capacidade Térmica

Para uma determinada massa, a quantidade de calor necessária para produzir um aumento no gradiente de calor depende da substância CREDER (1997). A capacidade térmica de uma amostra é dada por:

$$c = \frac{dq_x}{dT} \quad (3.6)$$

Onde c = é a capacidade térmica da amostra
 dq_x = é a quantidade de calor fornecida
 dT = Gradiente de temperatura

3.8 Calor Específico

A capacidade térmica por unidade de massa (m_1) de uma amostra é o que conceituamos de calor específico de uma amostra e é representada por:

$$c_p = \frac{1}{m_1} \cdot \frac{dq_x}{dT} \quad (3.7)$$

Integrando

$$q_x = m_1 \int_{T_{inicial}}^{T_{final}} c_p \cdot dT \quad (3.8)$$

$$q_x = m_1 \cdot c_p \cdot (T_{final} - T_{inicial}) \quad (3.9)$$

Quando a quantidade de calor é fornecida por uma fonte elétrica, de tensão V , em volts e corrente I , ampère conhecida, temos:

$$q_x = \frac{V \cdot I}{A} \quad (3.10)$$

Comparando (3.9) e com (3.10), temos:

$$c_p = \frac{V \cdot I}{A \cdot m_1 \cdot (T_{Final} - T_{Inicial})} \quad (4.11)$$

Quadro 3.5 Resultados - Calor Específico das Amostras

AMOSTRA	PESO (g)	MASSA (g)	TEMPERATURA $\overline{\Delta\theta}$	VOLTS (V)	AMPÈR (I)	CALOR ESPECÍFICO (J/Kg°C)
A ₀	1.945,50	194,55	15,66	5,50	3,15	0,2168
A ₂	1.835,25	183,52	21,72			0,1657
A ₅	1.731,00	173,10	14,55			0,2623
A ₇	1.594,30	159,43	22,57			0,1828
A ₁₀	1.583,10	158,31	22,96			0,1817
A ₁₂	1.497,35	149,73	26,36			0,1674
A ₁₅	1.191,80	119,18	26,36			0,2093
A ₁₈	1.126,70	112,67	31,13			0,1883
A ₂₀	1.003,80	100,38	21,48			0,3064
A ₂₂	945,90	94,59	31,59			0,2211
A ₂₅	898,99	89,89	35,40			0,2076
A ₂₇	856,05	85,60	24,71			0,3123
A ₃₀	768,25	76,82	23,13			0,3718
A ₃₅	723,55	72,35	24,26			0,3688

3.9 Aplicação do Método do Fio Quente Paralelo

O método do fio quente paralelo aplica-se a materiais granulares, homogêneos, porosos e densos, que tenham densidade superior a 400 kg/m^3 e é possível medir a condutividade térmica até 25 W/mK . A fixação do fio e do termopar dentro da amostra é feita através de ranhuras e afastada entre si de $15 \pm 1 \text{ mm}$. A junção de referência do termopar é mantida a uma temperatura de 30° C , temperatura ambiente (Fig. 3.8).

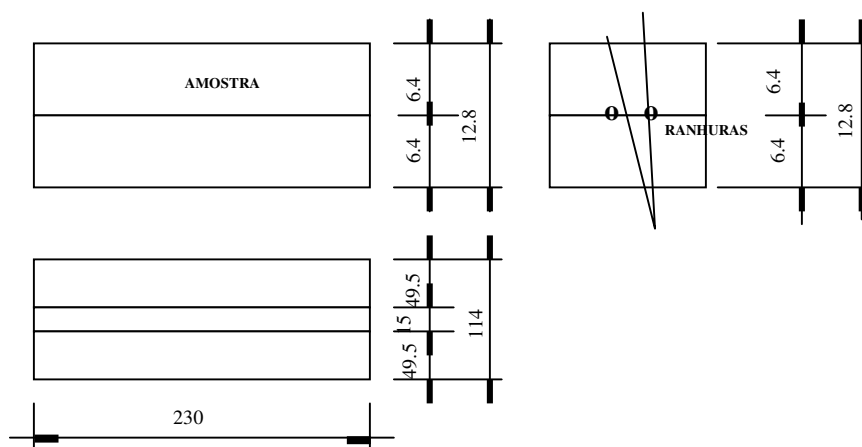
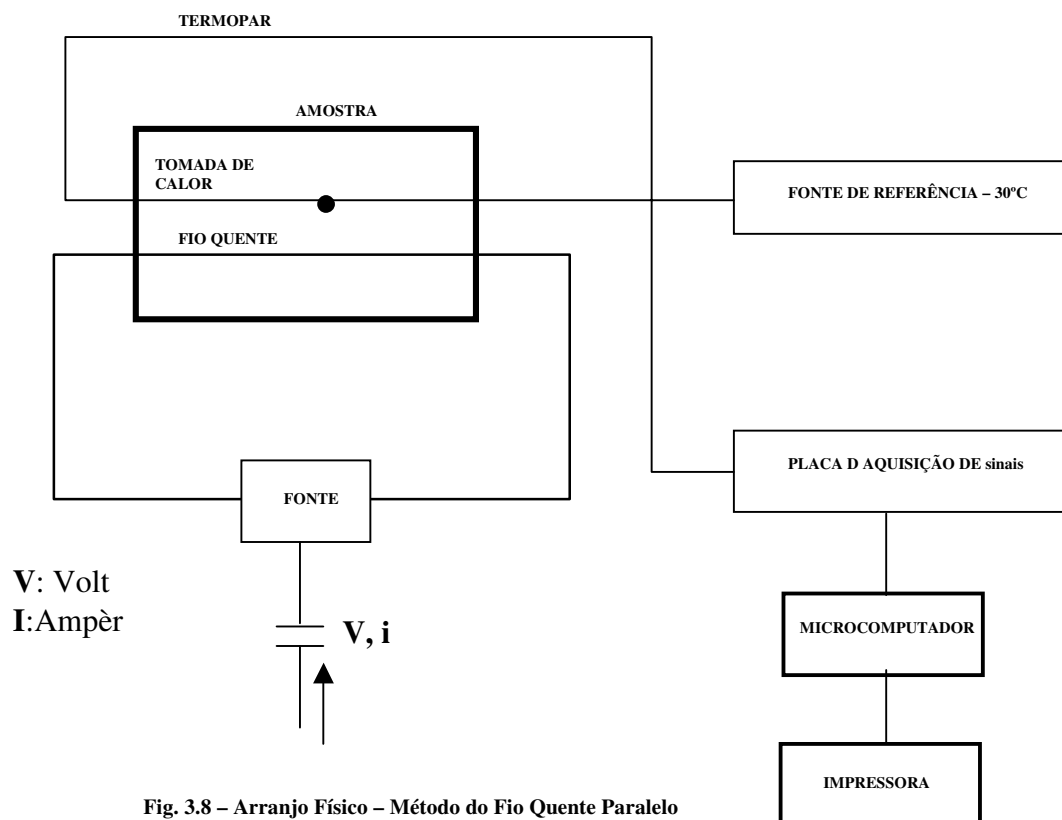


Fig. 3.7 – Geometria da Amostra

A geometria da amostra está representada na (Fig. 3.7) e o arranjo físico do Método do Fio Quente Paralelo está indicado na (Fig. 3.8).

3.9.1 Arranjo Físico do Método do Fio Quente Paralelo – ISO 8894 – 2.



3.10 Calibração do Sistema

Antes de serem iniciadas as aferições definitivas das temperaturas na unidade de tempo, o sistema foi calibrado para 5,5 volts e 3,15 ampère, utilizando uma fonte de alimentação RIZZI CC estabilizada marca MAXWELL e um multímetro ET-1000 da INIPA, e o ajuste da placa de aquisição de dados com as características do termopar. Medidas preliminares foram realizadas com as amostras de argamassa de gesso e fibra vegetal nas dimensões previstas na **ISO - 8894-2**. O objetivo destes testes é:

- a) Encontrar o arranjo experimental mais adequado possível para a realização dos testes definitivos da medição de temperatura.
- b) Estudar a influência de fatores que podem afetar o valor das temperaturas medidas:
- c) Possibilitar a repetibilidade do método experimental.

O arranjo Experimental – Fonte de produção de Calor e Placa de Aquisição de Dados experimental mais adequada possível para a realização das medidas definitivas foi aquele que teve 5,5volts e 3,15 A medidos na fonte produtora de calor BRAGA (2005).

A variação dos títulos com amostras semelhantes influenciou nas medidas de temperaturas durante a calibração, e repetindo os testes, com os mesmos arranjos, a nova leitura indicou pequenas variações nas medidas.

3.11 Instrumentos de Medição

As medidas de temperaturas na unidade de tempo foram captadas através de uma Placa de Aquisição de Sinais, da AqDados a partir de um arranjo preconizado pela **ISO – 8894 – 2 – Parte 2**, Método do Fio Quente Paralelo, utilizando software versão 4.0 para MS – DOS, op. Cit. BRAGA (2005).

Os sinais foram armazenados em microcomputador AMD Duron – 1.3 (FIVE STXR – 03/11405 – UNICAMP) e os relatórios impressos via impressora Epson Stylus Color 740, op. Cit. BRAGA (2005).

3.12 Programa Experimental

Os trabalhos de laboratórios foram estruturados em dois módulos. O primeiro consiste na montagem do equipo de medição, por medição da temperatura ambiente e nos testes de calibragem de cada amostra utilizando o arranjo Método do Fio Quente Paralelo obedecendo às mesmas dimensões das amostras, proporções entre os materiais e iguais condições de tempo. O

segundo módulo consiste na utilização da equação (3.12) que calcula a condutividade térmica do compósito.

3.13 Condutividade Térmica - Método do Fio Quente Paralelo

Nas (Tab. 1 a 14) estão os valores das condutividades térmicas instantâneas dos compósitos de argamassa de gesso e M.v.M, medidos em suas diversas titulações, determinadas pela equação (3.12).a partir das medições de temperaturas inferidas no dobro do tempo de exposição das amostras do compósito, utilizando o **Método do Fio Quente**

Paralelo, com fundamentação teórica com base na **ISO 8894 – 2, Segunda Parte**. BRAGA (2005). As condutividades térmicas instantâneas dos experimentos foram calculadas no de tempo de 0 a 1.280 segundos, em intervalo de 10 em 10 segundos. Para efeito de medições de temperaturas, tomaram-se quatorze amostras nas dimensões: 230 x 114 x 64 mm Padrão Internacional – **ISO 8894-2, Parte 2**, indicadas como: A₀, A₂, A₅, A₇, A₁₀, A₁₂, A₁₅, A₁₈, A₂₀, A₂₂, A₂₅, A₂₇, A₃₀ e A₃₅. Segundo a **ISO 8894 – 2, Parte 2**, a expressão que calcula a condutividade térmica (k) é expressa por:

$$k = \left\{ \left(\frac{VI}{4\pi L} \right) \left[\frac{-Ei\left(\frac{-r_1^2}{4\alpha t}\right)}{\Delta\theta(t)} \right] \right\} \quad (3.12)$$

Onde:	I	é a corrente de aquecimento, em ampère
	V	é a voltagem, em volt
	L	é o comprimento, em metro do arame quente entre os tapes de voltagem.
$\Delta\theta$		é a diferença de potencial de temperatura, em Kelvins entre a medida e o termopar de referência no tempo t
	t	t é o período de tempo. Em segundos, entre o abrir e fechar o circuito de aquecimento.
	t	é período de tempo, em segundos, entre abrir e fechar o circuito de aquecimento.
	r ₁	é a distância, em metros, entre o arame quente e o termopar de medida

α é a difusividade térmica, em metros quadrados por segundos.

Os valores de k , podem ser considerados precisos se:

$$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)} \equiv (1,5 \text{ a } 2,4) \quad (3.13)$$

Generalizando a equação (5.2) para uma progressão de valores de tempo;

$$(n + 1) = 2 \quad (3.14)$$

para $n = 1$ pertencente ao conjunto dos número naturais, temos portanto:

$$\frac{\Delta\theta[(n + 1)(t)]}{\Delta\theta[n(t)]} \equiv (1,5 \text{ a } 2,4) \quad (3.15)$$

Capítulo 4

Análise Experimental

4.1 Argumentos para a Análise Experimental

As matérias primas, gesso e fibra vegetal de M.v.M foram tituladas utilizando a equação (3.1). A homogeneização da argamassa foi realizada por processo mecânico e a moldagem em forma de alumínio e madeira (Fig. 3.5) e, após trinta minutos as amostras foram desformadas e secas ao ar livre e protegida por cobertura: secas e em equilíbrio com o ambiente, as amostras foram levadas a uma estufa calibrada para até 110 ° C, por doze horas, para a secagem final. Após o período na estufa, as amostras foram submetidas às medições de temperatura, utilizando-se o Método do Fio Quente Paralelo como base na norma Internacional **ISO 8894-2, Parte 2** – (Fig. 3.8). Com os dados obtidos em laboratório e utilizando a equação (3.12), foram montadas as Tabelas de 1 a 14.

4.2 Ajuste dos Resultados

Utilizando o software “Origin 7.5”, as condutividades térmicas instantâneas, (Coluna k) das Tabelas 1 a 14, foram ajustadas pela equação (4.1)

$$k_0 = A_1 + e^{\left(\frac{-t}{t_2}\right)} \quad (4.1)$$

de parâmetros contidos na (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Parâmetros da Equação (4.1) – R_1 :Correlação entre Curvas:

% M.v.M	k_0	A_1	t_2	r_1
0	0,2048	2,03345	43,61396	0,9554
2	0,41647	6,11045	49,28488	0,9791
5	0,00000	7,48401	124,50935	0,9737
7	0,21934	3,80475	231,66233	0,9999
10	0,17897	1,36270	491,98137	1,0000
12	0,27408	2,47381	270,97985	0,9996
15	0,25524	3,37006	1,67626	0,9997
18	0,24633	2,61011	260,01100	0,9998
20	0,20448	2,62481	190,40045	0,9732
22	0,19989	1,36029	471,55821	1,0000
25	0,24841	3,93808	245,86091	1,0000
27	0,27250	3,03873	185,48660	0,9952
30	0,19533	3,58951	42,07692	0,9800
35	0,25454	4,84246	74,22698	0,9916

As figuras (Fig. 1 a 14), foram construídas pela equação (4.1). A curva preta representa as condutividades térmicas instantâneas determinadas em função do tempo e a curva vermelha a representação gráfica da função ajustada, op.Cit. Software Origin 7.5.

A (Fig. 4.1), construída a partir da (Tabela 15), apresenta as condutividades térmicas instantâneas, no intervalo de $(0,220 \leq k \leq 0,550)$ W/m° C – curva preta - e a curva vermelha, a função ajustada; para esta construção foram consideradas a variação de massa de M.v.M no intervalo: $3,894 \leq m_1 \leq 68,0925$ gramas e, para o intervalo de tempo compreendido em $640 \leq t \leq 1280$ segundos. A (Tabela 4.1), coluna R_1 , apresenta as diversas correlações entre as duas curvas; estas apresentam correlação média de $\bar{R}_1 = 0,9819$ e desvio padrão, $\delta = \pm 0,1$. As curvas de melhor ajuste são àquelas que a correlação se aproxima da unidade.

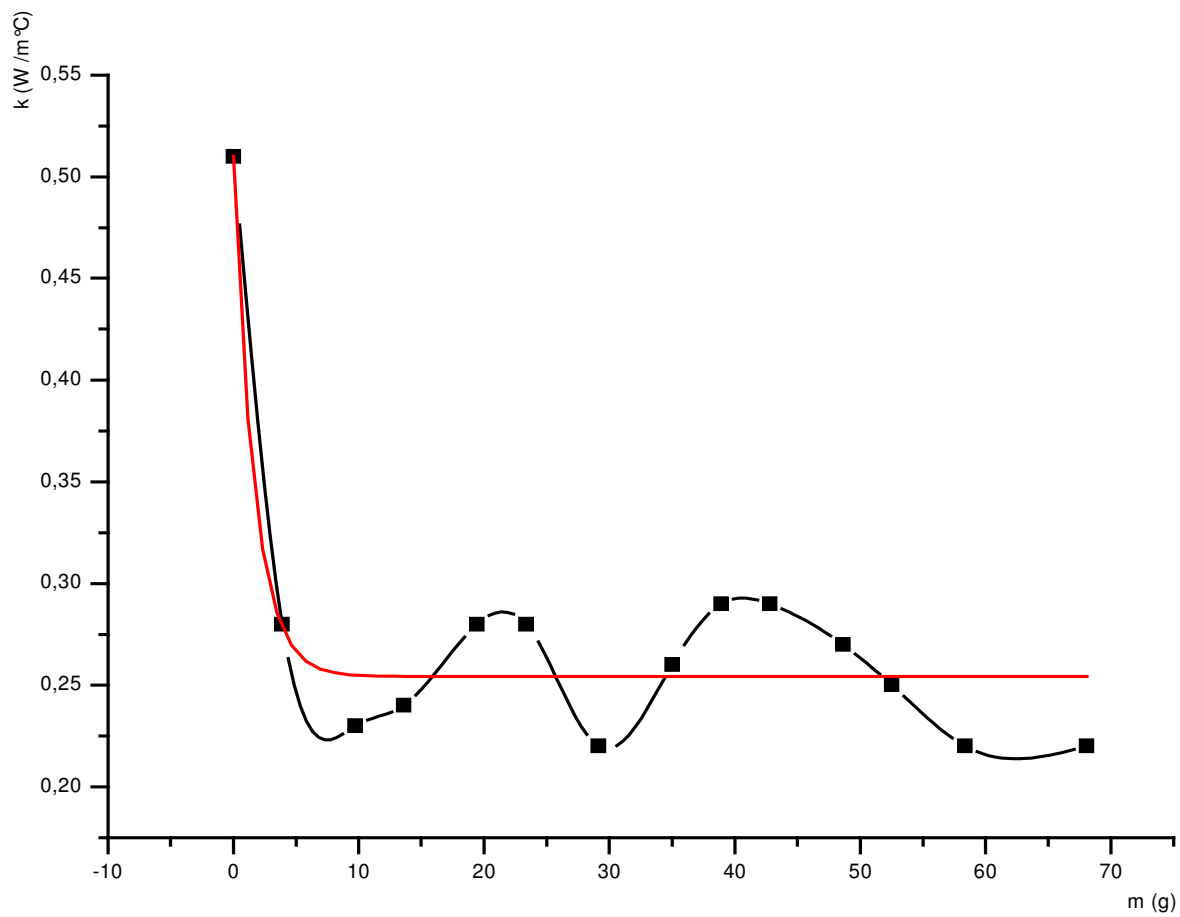


Fig. 4.1 Curva: Massa e Condutividade Variável - Tempo Constante a 1280 s

Capítulo 5

Discussão dos Resultados

5.1 Índices Físicos

Os valores dos índices físicos dos compósitos de argamassa de gesso e as fibras de M.v.M foram diferentes entre si no momento de suas determinações em laboratório. A porosidade e o índice de vazios são indicadores que contribuem para a redução da condutividade térmica instantânea do compósito. Nesta subunidade intitulada “**Resultados**”, os valores obtidos estão apresentados na forma de percentuais. (Quadro 20) deste trabalho. As sínteses:

Teor de umidade: - O valor médio entre todas as medidas é de 2,498 %, e seu desvio padrão de $\pm 2,187$:

Índice de vazios: - A determinação deste índice está diretamente relacionado com o teor de umidade , equação (3.2), apresentando o valor médio 2,421 %, e desvio padrão $\pm 2,122$;

Porosidade: - A porosidade determinada pela equação (3.4), tem como valor médio 2,348 % e desvio padrão $\pm 1,994$. Os valores médios dos índices físicos apresentados são teoricamente iguais, caracterizando uma perda de água constante, dada à obediência do fator $A/G = 0,23$.

5.1.1 Calor Específico

O calor específico de cada amostra foi determinado pela equação (3.11) e estão apresentados no (Quadro 3.5). O menor valor aferido foi encontrado na amostra com 2% de

M.v.M enquanto o maior, na amostra com 35 % de M.v.M., apresentou um valor médio de 0,2400 J/kg° C e desvio padrão de $\pm 0,076$.

5.2 Discussão

FROTA & SCHIFFER (2001) citam que a densidade da argamassa de gesso é de 1000 kg/m³ e o gesso em placas, 750 kg/m³, sendo que as duas formas de apresentação têm calor específico de 837 J/kg° C op.Cit. PEREIRA (2001) afirma que a densidade da *Mauritia vinifera Martius* é 173 kg/m³ e o calor específico de 1.675 J/kg° C.

No percentual de 2 % de M.v.M, no compósito, a pesquisa revelou um acréscimo de 9,6 % de peso específico; e para 35 % de M.v.M, um decréscimo de 55,6 %. Os demais pesos específicos das amostras, com os percentuais intermediários são decrescentes e estão apresentados no (Quadro. 3.4).

O calor específico da argamassa de gesso é 837 J/kg° C, com a presença de 2 % de M.v.M na argamassa, obteve-se pela equação (3.11), o valor de 1.637 J/kg° C; e para 35%, 3.688 J/kg° C; os demais valores compreendidos nestes limites, apresentaram valores crescentes na sua maioria (Quadro 3.5) e, portanto, um ganho significativo em calor específico.

Os índices físicos (teor de umidade, índice de vazios e porosidade) tiveram valores médios iguais e na série de medições: limites de 2 % a 35 % de M.v.M na argamassa de gesso, valores variados (Quadros:. 1 a 3). A porosidade é um dos indicadores da redução da densidade, da condutividade térmica instantânea, e pelo crescimento do calor específico das amostras.

FROTA e SCHIFFER op. Cit. (2001) citam que a condutividade térmica das argamassas de gesso é de 0,53 W/m° C e em forma de placas, 0,35 W/m° C e das fibras brancas de madeira 0,06 W/m° C. e é neste intervalo que serão estudadas a condutividade térmica instantâneas dos compósitos e nos percentuais de 2 % a 35 % de M.v.M, utilizando a (3.12), e com os valores

contidos nos (Tab. 1 a 14). A **ISO 8894 – 2, Segunda Parte**, estabelece a metodologia e os critérios para a aplicação do Método do Fio Quente Paralelo.

O sistema foi calibrado para uma diferença de potencial de 5,5 Volts, amperagem 3,15 A e junta fria média de 30 ° C. As condutividades térmicas instantâneas calculadas pela equação (3.12), foram obtidas pelas as aferições de temperatura em laboratório no intervalo de $0 \leq t \leq 1280$ segundos, op. Cit. BRAGA (2005).

Da leitura do (Quadro 19), verifica-se que, para o tempo de 640 segundos, as condutividades térmicas instantâneas assumem valores no intervalo de $0,220 \leq k \leq 0,550$ W/m°C, que inserem por aproximação a condutividade térmica da argamassa de gesso; 0,53 W/m ° C; para o tempo de 1280 segundos, as condutividades térmicas instantâneas ficam no intervalo de $0,220 \leq k \leq 0,290$ W/m ° C, portanto abaixo da condutividade térmica da placa de gesso, 0,35 W/m ° C. Os resultados obtidos convergem para uma condutividade térmica instantânea média de $\bar{k} = 0,255$ W/m ° C e desvio padrão de $\pm 0,036$ W/m ° C.

5.3 Conclusão

Com base nos estudos sistemáticos e dos resultados obtidos e nas condições adotadas nestes experimentos, concluiu-se que o linho obtido a partir das folhas da *Mauritia vinifera Martius* apresenta boas características tecnológicas para a produção de compósitos com argamassa de gesso, fazendo desta espécie não arbórea uma fonte alternativa de matéria prima para a fabricação de um produto compósito que possa ser utilizado na construção civil como placas isolantes térmicas, e serem aplicadas como entremeios de paredes e pisos, forros, revestimentos e propiciar à edificação Condicionamento Ambiental desejável.

Capítulo 6

Perfil dos Resultados da Pesquisa

Os resultados obtidos nos experimentos para obtenção das condutividades térmicas instantâneas dos compósitos de argamassa gesso e a fibra de buriti-ivan – *Mauritia vinifera Martius*, demonstrou que as características tecnológicas da fibra de M.v.M conduzem a resultados satisfatórios para uso como carga nas argamassas de gesso aumentando o ganho em 27,14 % em isolamento térmico, pela redução da condutividade térmica instantânea do compósito, podendo ser indicadas em forma de placas isolantes térmicas para paredes, forros e pisos. Em função da baixa densidade, as placas só podem ser utilizadas com proteção mecânica.

6.1 Sugestões para Novos Estudos

A casca do côco da praia (*Cocos Nucifera*), lixo produzido em grande escala nas praias do litoral brasileiro. Este produto natural tem fibras fortes e observadas expeditamente, são muito leves quando perdem água – muda de densidade – Indicador para serem utilizadas em placas acústicas e de isolamento térmico.

Os resíduos vegetais resultantes da queda das folhas e das podas dos galhos das árvores podem ser utilizados por compostagem na produção de adubos. Compósitos com cimento e resíduos de madeira para a fabricação de blocos e tijolos.

Referências Bibliográficas

- AZZINI, A.;SALGADO, A.L.B.;TEIXEIRA, J.P.F. Curva de maturação da Crotalaria juncea L. em função da densidade básica do caule. **Bragantia**, Campinas. 40(1):1 – 10.1981.
- ABBEVILLE, C, C. **História da Missão dos Padres Capuchinhos na Ilha do Maranhão e Terras Circunvizinhas (1612)**. São Paulo. Livraria Martins. Edição Rubens Rocha de Moraes. 1945.
- BRAGA, Ivan Franklin Pontes.**Estudo sobre Condutividade Térmica em Placa de Compósitos de Argamassa Gesso com Fibra Vegetal**. São Luís - MA, de 2001 a 2005. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica, Instrumentação e Controle Industrial; Universidade Estadual de Campinas).
- BAUER, Falcão L.A. **Materiais de Construção**. Ed. Livro Técnico. 1974, 24-27p
- BRASIL - DNPM. Ministério de Minas e Energia. **Sumário Mineral 2001**. Brasília.2000.120p
- BACELONA. **Biblioteca Profissional E.P.E**. 1988. Barcelona 1988.530p
- BENTHAM, G e HOOKER, J. A.**Genera Plantarium**.1862.
- CRONQUISTE, A. **Na Integrated system of classification or flowering plants**. New York: Colômbia University Press. 1981.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos**. Ed. Ao Livro Técnico.1974.v1.237p.
- CLAY, J.W.; SAMPAIO, P de T. B.; CLEMENT, C. R. **Biodiversidade da Amazônia: exemplos e estratégias de utilização, Manaus: INPA/SEBRAE**. 2000.
- CARVALHO, José Joaquim Castro de. **O Artesanato de Barreirinhas – em São Luís – Maranhão de 1985 a 1986**. Monografia (Especialização em Artes) – Universidade Federal do Maranhão.
- CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado**. 5ª Edição. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora. 1997.360p.
- _____. **Instalações Elétricas**. 14ª Edição. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora.2002.24 - 43p.
- COSTA, Ennio Cruz da. **Física Aplicada à Construção: Conforto Térmico**. Editora Edgard Blücher Ltda. 1981. 260p.

DAMBRÓSIO, Nicolau; D'AMBRÓSIO, Ubiratan. **Matemática Comercial e Financeira..** São Paulo. Cia. Ed. Nacional. 1977. p.77-78

DOSSAT, Roy. **Manual de Refrigeração.** Editora Hemus. 1978. IIIv.

E.P.S. **Tecnologia de la Madera.** Barcelona. 1988

FROTA, Anésia Barros,; SCHIFFER, Sueli Campos. **Manual de Conforto Térmico.** Ed. Studio Nobel. 2001. 5ª Edição. 243p.

FREIRE, F. H. F. **Utilização das fibras vegetais na atividade Artesanal da Região Maranhense.** São Luís. UFMA/DEDET. Dissertação de Conclusão do Curso de Desenho Industrial. 191p. 1996.

GEDSO CRUZEIRO DO SUL: banco de dados. Disponível em <http://www.gessocruzeirosul.br>. Acesso em 15 de outubro de 2002.

HOLMER, Salvastrano Junior. **Materiais à base de Cimento reforçado com Fibra Vegetal: Reciclagem de Resíduos para a construção de Baixo Custo.** – em São Paulo SP. 2000. Tese de Livre – **Docência:** (Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo).

HALÁSZ, Judith Zoltán. **Princípios para o Condicionamento do Ar:** Controle Térmico de Ambiente. Campinas-SP. 141p.

HOMMA, A. K. **Reservas Extrativistas:** uma Opção de Desenvolvimento viável para a Amazônia. Revista Pará Desenvolvimento, 199, p25-38-48.

HENDERSON, A. **The Palms of Amazon.** New York: Oxford University Press, 1994.

HOLO, Wilson.; SCIGLIANO, Sérgio. **Conforto Térmico em Edifícios Comerciais e Industriais em Regiões de Clima Quente.** Pinni Editora. 2001. 279p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION – ISO 8894 – 2, Parte. **Método do Fio Quente Paralelo, Parte 2. 1987.** Primeira Edição.

INTERNATION ORGANIZATION FOR STANTARTIZATION – ISO 8894 –1. **Refractory Materials – Determination of Thermal Conductivity – Part 1: Hot – wire method (Cross Array).** First Edition. 1987.

INCROPPERA, FRANK.; WITT, DAVID D.P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa.** School of Mechanical Engineering. Editora LTC. 1966.

JANSEMN, A. C. **Diagnóstico do subsetor madeireiro do Estado do Amazonas**. SEBRAE-MA-MANAUS-AM. 1991.

KACHN, F.; GRANVILLE, J. J. de. **Palms in Florest Ecosys of Amazonia**. New York. Spriger- Verlog. 1997.

KAHN, F.; GRANVILLE, J. J de **Palms in Forest Ecosystems of Amazonia**. New York: Spriger – Verlag. 1992.

LORENZI, H. **Palmeiras no Brasil: exóticas e nativas**. Nova Odessa. SP. Editora Plantarum. 1996.

Lynux Tecnologia Eletrônica Ltda. AqDados – **Manual do Usuário**. São Paulo. 1999.

MOSCOSO, R. M. **Palmas Dominicanas**. Ciudad Trujillo, R. D. Editora Montalvo. 1945.

MOURA, Luis Felipe Mendes de. **Fundamentos de Condicionamento Ambiental**. Capinas- SP. 2001. 60p.

PEREIRA, Sanatiel de Jesus. **Avaliação das características e Propriedades celulósica de *Mauritia vinifera Martius* e *Bactris inundata Martius* (PALMAE) pelo Processo KRAFT – em Curitiba – Paraná de 1997 a 2001**. 2001. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná.

PEREIRA, Sanatiel de Jesus.; Lobo, Francisco de Assis de Souza. **Fibras Vegetais: - Produtos e Processos no Artesanato Maranhense**. In:CONGRESSO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 1. São Paulo, 1994 Anais. São Paulo, 1994^a. V.2. pIII-11.

SCHMIDT, FRANK. W.; HENDERSON, ROBERT, E; WOLGEMUTH. **Introdução à Ciências Térmicas**. Editora Edgard Blücher Ltda. 1994.

SILVA, Pérides. **Acústica Arquitetônica & Condicionamento de Ar**. Edital. 2002.283p.

SILVA, Carlos Alberto da. **O Pó de Serragem como matéria-prima na Construção de Casas Populares**. Projeto de Pesquisa. Departamento de Desenho e Tecnologia-DEDET-UFMA. 1991..

SILVA & SOUSA. **Aproveitamento do Pó de Serragem de Madeira nas Construções de Casas Populares**. Projeto de Pesquisa. Departamento de Desenho e Tecnologia-DEDET-UFMA. 2000.

SPIEGEL, Murrey Ralph. **Estatística: Coleção Schaum**. São Paulo. McGraw-Hill.1977.

SANTOS, Wilson dos. **Contribuição ao Estudo da Condutividade Térmica do Material Cerâmico – Concreto Refratário Utilizando a Técnica do Fio Quente com ajuste por**

Regressão não Linear – em Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia Associada à Universidade de São Paulo. São Paulo. 1988. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) – Universidade São Paulo.

SLATER, A. Cownley. **Geologia para Engenheiros**. Editora LEP S/A. São Paulo. V II.

TORRERA, Raul Peragallo. **Isolamento Térmico: Frio & Calor**. Fulton Editora. 1980. 551 – 536 p.

_____ **Refrigeração e Ar Condicionado**. Fulton Editora. 1979. 1327p.

UNESP:<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/sulfatos/gipsita.html>. Acesso em 15 de outubro de 2002.

APÊNDICES

Tabela 1 – Condutividade Térmica Instantânea
Compósitos com 0% – M.v.M

TEMPO (s)	TEMPERATURAS		$\Delta\theta(t)$ °C	$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$\frac{-Ei(\frac{-r^2}{4\alpha t})}{\Delta\theta(t)}$	k W/m°C	k_{aj} W/m°C
	JUNTA FRIA °C	COMPÓSITO °C					
0	30,15	30,12	-0,03	-	-	-	
10	30,15	30,60	0,45	-	-	-	
20	30,15	31,07	0,92	2,04	0,2613	1,39	
40	30,15	32,50	2,35	1,80	0,06286	1,31	
80	30,15	35,35	5,20	1,262	0,3324	0,31	
160	30,22	41,61	11,38	1,75	0,690	0,29	
320	30,25	48,29	18,04	1,60	0,9405	0,26	
640	30,30	58,32	28,03	1,46	1,3274	0,24	
1280	30,20	58,40	38,40	1,36	1,7863	0,22	

Curva de melhor ajuste para 0 % de M.v.M

$$k_{0\%} = A_1 \cdot e^{\left(-\frac{t}{t_2}\right)}$$

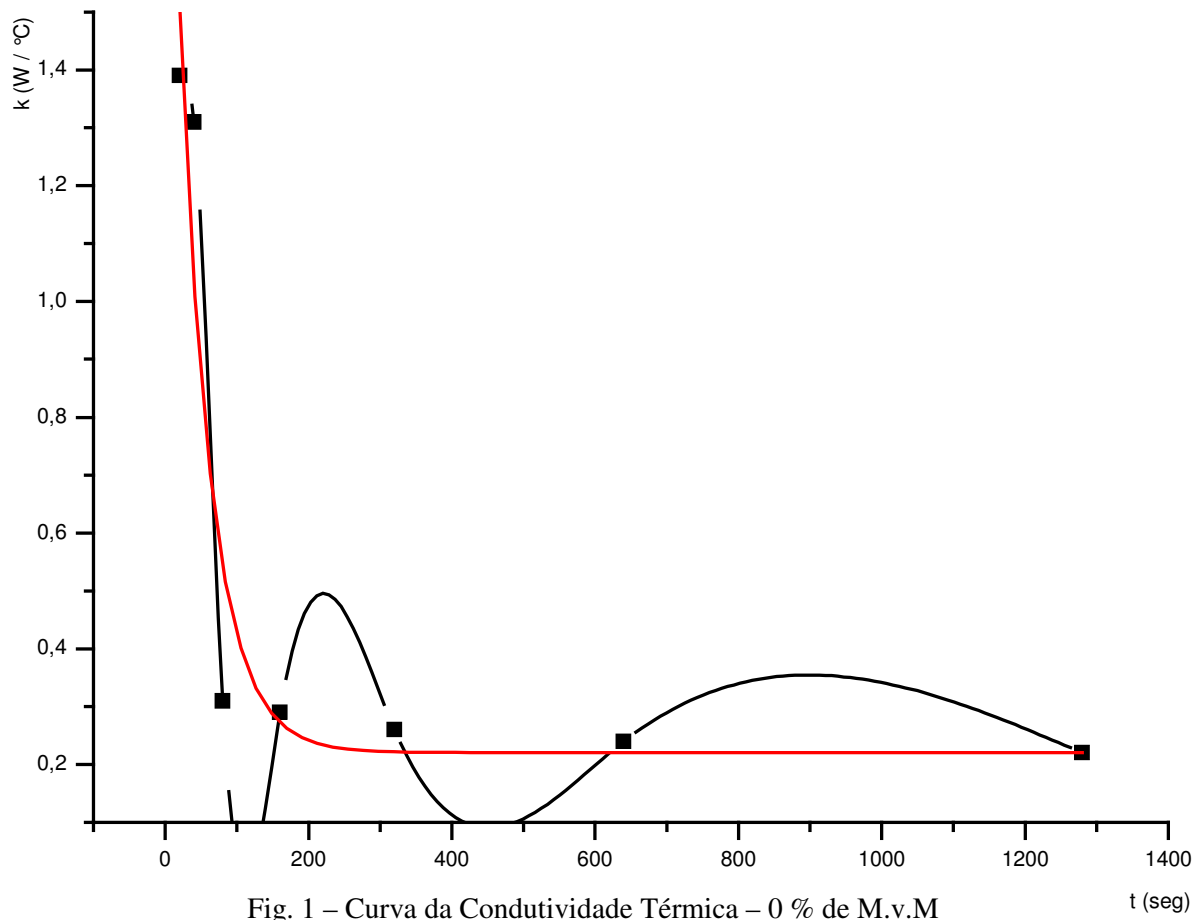


Fig. 1 – Curva da Condutividade Térmica – 0 % de M.v.M

t (seg)

Tabela 2 – Condutividade Térmica Instantânea
Compósitos com 2% – M.v. M

TEMPO (s)	TEMPERATURAS		$\Delta\theta(t)$ °C	$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$\frac{-Ei(\frac{-r^2}{4\alpha t})}{\Delta\theta(t)}$	k W/m°C	k_{aj} W/m°C
	JUNTA FRIA °C	COMPÓSITO °C					
0	27,70	33,86	6,16	-	-	-	
10	27,73	34,36	6,63	1,07	-	-	
20	27,70	34,33	6,63	1,00	-	-	
40	27,73	35,31	7,58	1,14	4,9366	3,20	
80	27,78	37,86	9,48	1,25	2,6949	1,39	
160	27,85	39,23	11,38	1,20	1,529	1,04	
320	28,02	44,63	16,61	1,45	-	-	
640	28,31	50,63	22,32	1,41	1,529	0,33	
1280	29,24	59,65	30,41	0,57	1,7863	0,28	

Curva de melhor ajuste para 2 % de M.v.M

$$k_{2\%} = A_1 \cdot e^{\left(-\frac{t}{t_2}\right)}$$

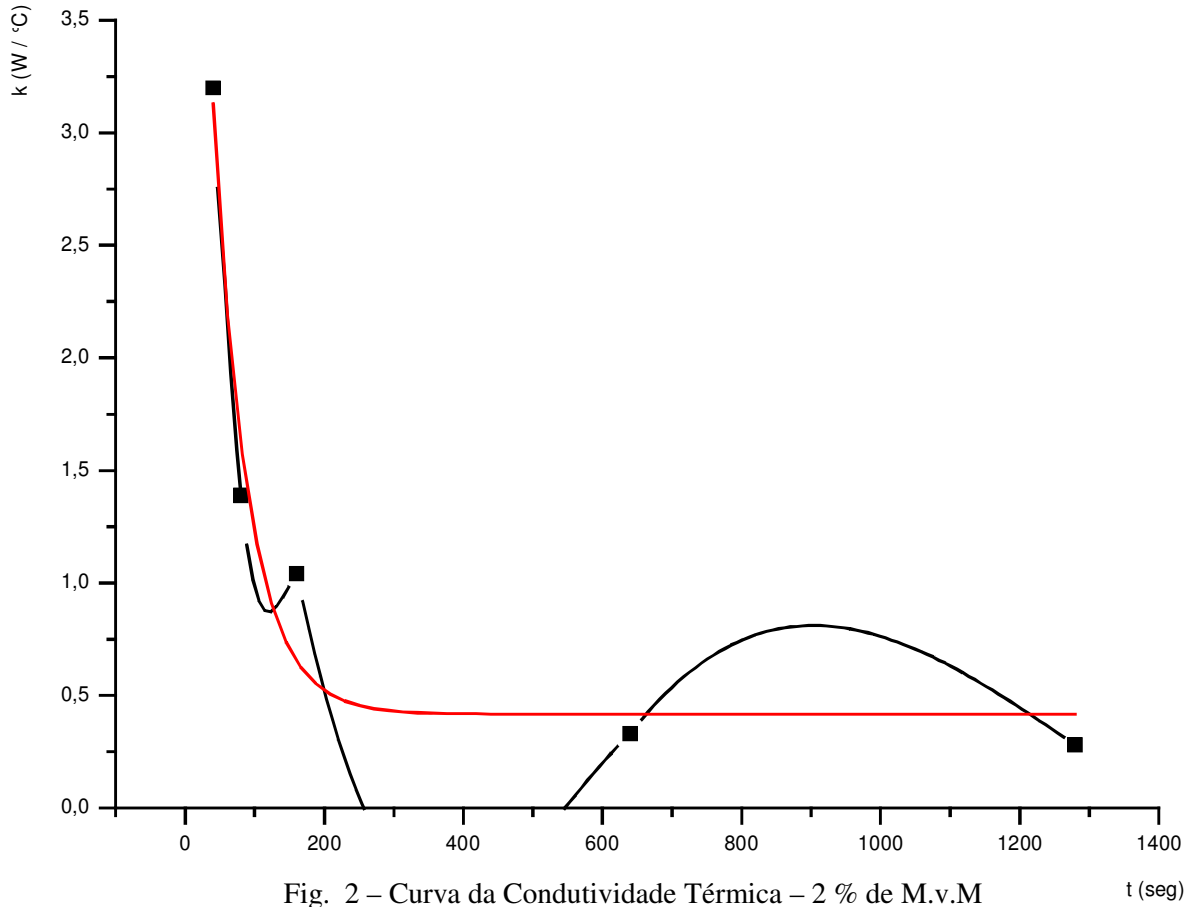


Fig. 2 – Curva da Condutividade Térmica – 2 % de M.v.M

t (seg)

Tabela 3 – Condutividade Térmica Instantânea
Compósitos com 5% – M.v.M

TEMPO (s)	TEMPERATURAS		$\Delta\theta(t)$ °C	$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$\frac{-Ei(\frac{-r^2}{4\alpha t})}{\Delta\theta(t)}$	k W/m°C	k_{aj} W/m°C
	JUNTA FRIA °C	COMPÓSITO °C					
0	28,51	31,81	3,30	-	-	-	
10	28,51	32,51	3,77	1,13	5,3213	6,94	
20	28,56	32,81	4,25	1,12	6,2966	5,90	
40	28,54	33,26	4,73	1,11	6,2966	6,54	
80	28,54	34,22	5,68	1,20	3,4192	2,96	
160	28,64	35,26	6,63	1,22	3,0918	2,29	
320	28,78	38,26	9,48	1,42	1,4852	0,77	
640	29,20	42,48	13,29	1,40	1,5758	0,58	
1280	30,08	50,97	20,89	1,57	1,0071	0,23	

Curva de melhor ajuste para 5 % de M.v.M

$$k_{5\%} = A_1 \cdot e^{\left(\frac{-t}{t_2}\right)}$$

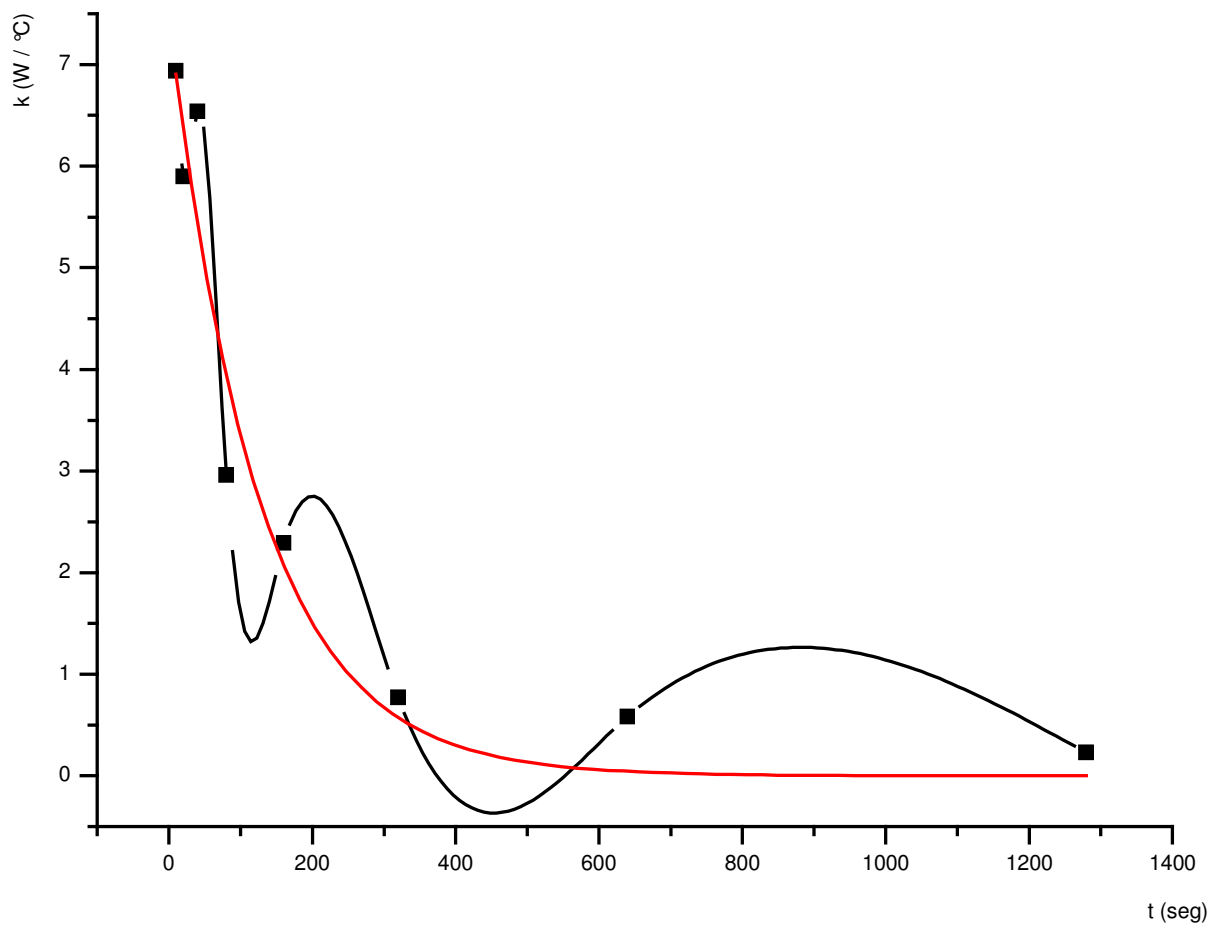


Fig. 3 – Curva da Condutividade Térmica – 5 % de M.v.M

Tabela 4 – Condutividade Térmica Instantânea
Compósitos com 7% – M.v.M

TEMPO (s)	TEMPERATURAS		$\Delta\theta(t)$ °C	$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$\frac{-Ei(\frac{-r^2}{4\alpha t})}{\Delta\theta(t)}$	k W/m°C	k_{aj} W/m°C
	JUNTA FRIA °C	COMPÓSITO °C					
0	30,46	39,47	9,01	-	-	-	
10	30,44	39,92	9,48	1,05	-	-	
20	30,46	39,47	9,01	0,95	-	-	
40	30,44	40,39	9,95	1,10	6,9287	3,42	
80	30,44	41,35	10,91	1,09	-	-	
160	30,44	42,30	11,86	1,08	-	-	
320	30,68	44,92	14,24	1,20	3,4192	1,18	
640	31,05	50,53	19,48	1,36	1,7863	0,45	
1280	31,32	56,98	25,66	1,31	2,1227	0,40	

Curva de melhor ajuste para 7 % de M.v.M

$$k_{7\%} = A_1 \cdot e^{\left(-\frac{t}{t_2}\right)}$$

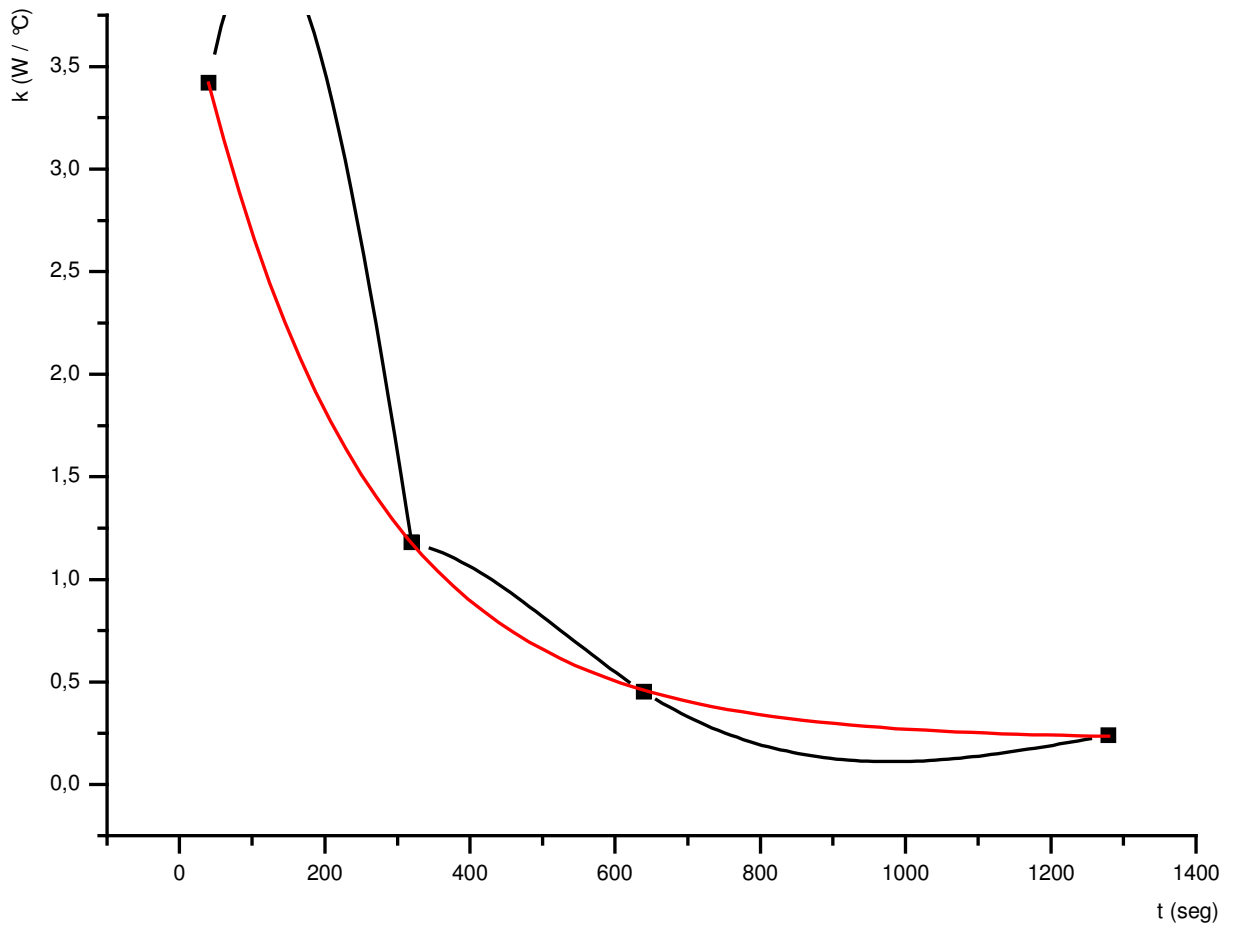


Fig. 4 – Curva da Condutividade Térmica – 7 % de M.v.M

Tabela 5 – Condutividade Térmica Instantânea
Compósitos com 10%– M.v.M

TEMPO (s)	TEMPERATURAS		$\Delta\theta(t)$ °C	$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$\frac{-Ei(\frac{-r^2}{4\alpha t})}{\Delta\theta(t)}$	k W/m°C	k_{aj} W/m°C
	JUNTA FRIA °C	COMPÓSITO °C					
0	30,51	41,42	10,91	-	-		
10	30,46	41,37	10,91	1,00	-		
20	30,49	41,87	11,38	1,04	-		
40	30,51	42,37	11,86	1,04	-		
80	30,54	42,87	12,33	1,03	-		
160	30,63	44,39	14,00	1,13	-		
320	30,83	47,92	17,09	1,22	3,0918	0,89	
640	31,15	53,00	21,85	1,27	2,4772	0,55	
1280	31,10	61,04	29,94	1,37	1,7295	0,28	

Curva de melhor ajuste para 10 % de M.v.M

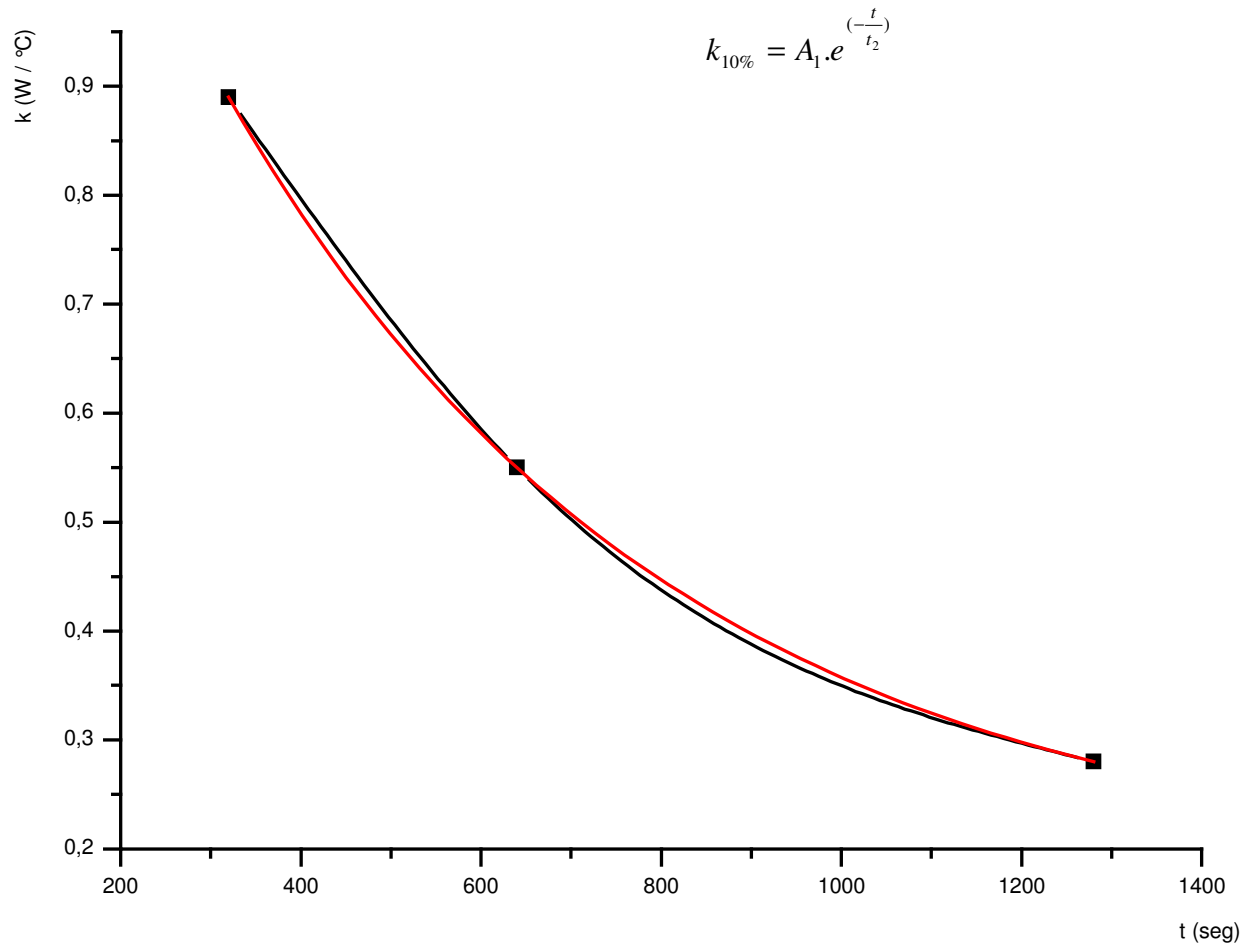


Fig. 5 – Curva da Condutividade Térmica – 10 de M.v.M

Tabela 6 – Condutividade Térmica Instantânea
Compósitos com 12% – M.v.M

TEMPO (s)	TEMPERATURAS		$\Delta\theta(t)$ °C	$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$\frac{-Ei(\frac{-r^2}{4\alpha t})}{\Delta\theta(t)}$	k W/m°C	k_{aj} W/m°C
	JUNTA FRIA °C	COMPÓSITO °C					
0	28,85	40,71	11,86	-	-	-	
10	28,85	40,71	11,00	0,92	-	-	
20	28,88	40,73	11,52	1,04	-	-	
40	28,88	41,69	12,81	1,11	6,2966	2,41	
80	28,88	41,69	12,81	1,00	-	-	
160	29,00	43,73	14,71	1,14	4,9366	1,65	
320	29,14	46,71	17,57	1,19	3,6077	1,01	
640	29,41	51,73	22,32	1,27	2,4772	0,54	
1280	29,78	60,18	30,40	1,36	1,7863	0,28	

Curva de melhor ajuste para 12 % de M.v.M

$$k_{12\%} = A_1 \cdot e^{\left(\frac{-t}{t_2}\right)}$$

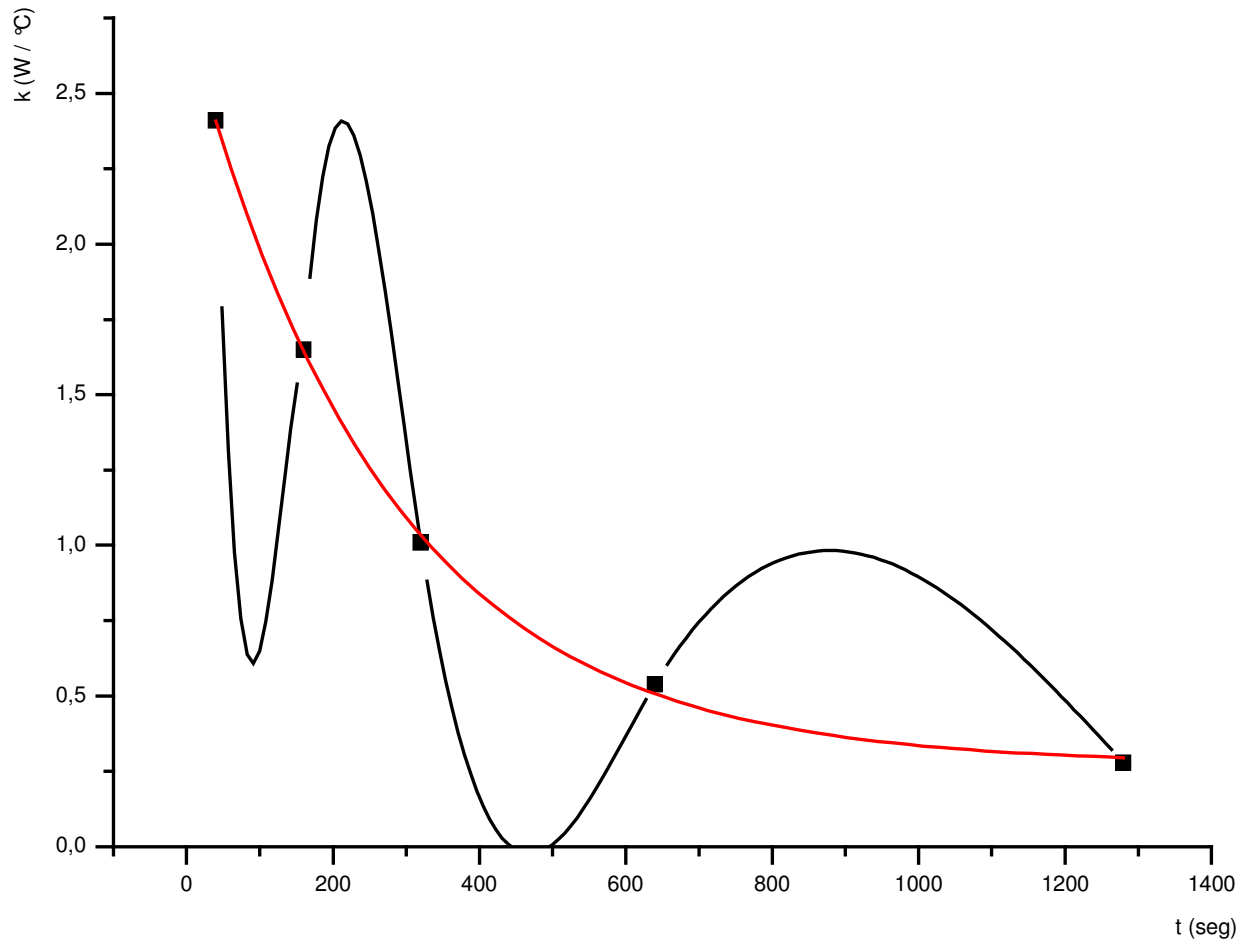


Fig. 6 - Curva da Condutividade Térmica – 12 % de M.v.M

Tabela 7 – Condutividade Térmica Instantânea
Compósitos com 15% – M.v.M

TEMPO (s)	TEMPERATURAS		$\Delta\theta(t)$ °C	$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$\frac{-Ei(\frac{-r^2}{4\alpha t})}{\Delta\theta(t)}$	k W/m°C	k_{aj} W/m°C
	JUNTA FRIA °C	COMPÓSITO °C					
0	30,07	40,50	10,43	-	-	-	
10	30,07	40,98	10,91	1,04	-	-	
20	30,07	41,47	11,40	1,04	-	-	
40	30,05	41,91	11,86	1,04	-	-	
80	30,05	43,33	13,28	1,11	6,2964	2,33	
160	30,05	45,23	15,18	1,14	4,9366	1,60	
320	30,05	49,04	18,99	1,25	2,6949	0,69	
640	30,10	55,27	25,17	1,32	2,0473	0,40	
1280	30,05	65,19	-35,14	1,39	1,6245	0,22	

Curva de melhor ajuste para 15 % de M.v.M

$$k_{15\%} = A_1 \cdot e^{\left(-\frac{t}{t_2}\right)}$$

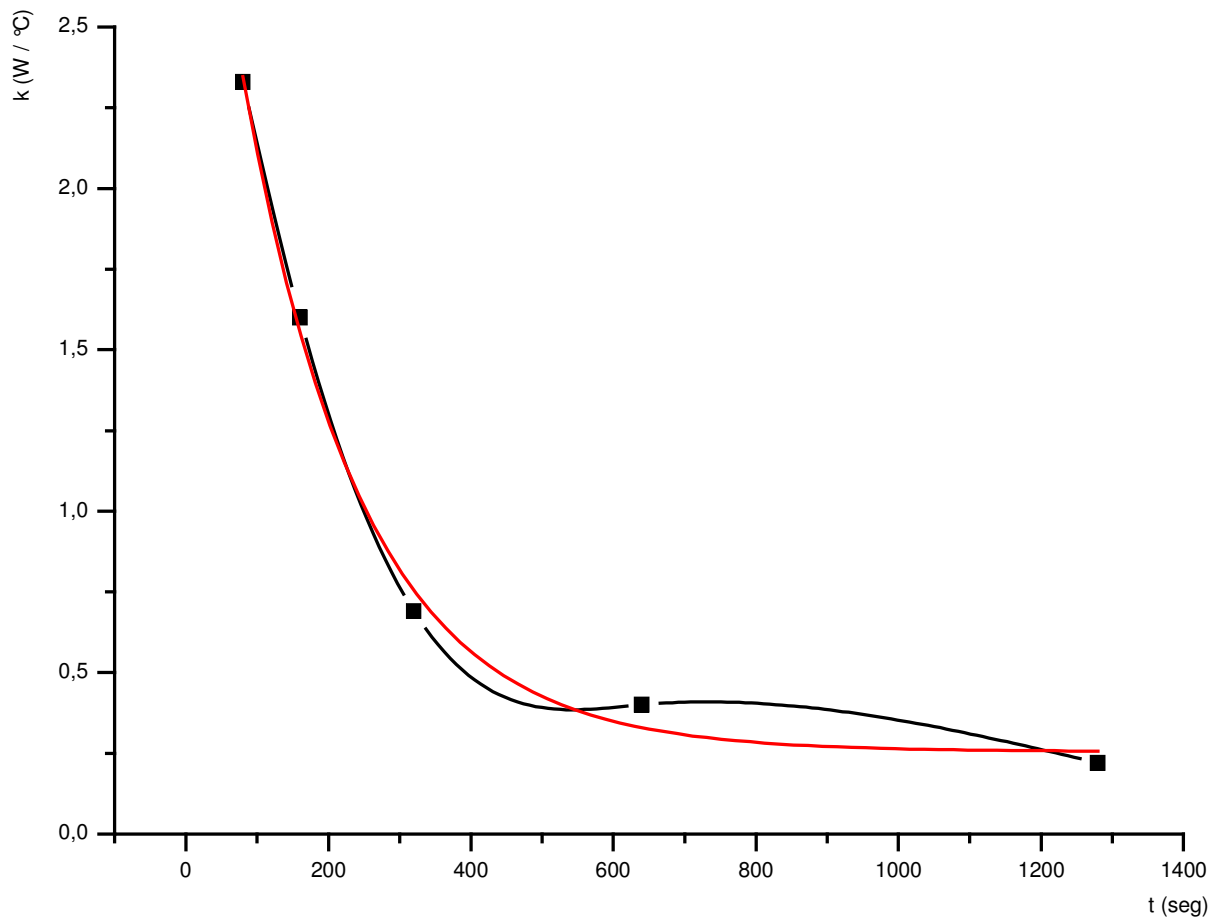


Fig. 7 – Curva da Condutividade Térmica – 15 % de M.v.M

Tabela 8 – Condutividade Térmica Instantânea
Compósitos com 18% – M.v.M

TEMPO (s)	TEMPERATURAS		$\Delta\theta(t)$ °C	$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$\frac{-Ei(\frac{-r^2}{4\alpha t})}{\Delta\theta(t)}$	k W/m°C	k_{aj} W/m°C
	JUNTA FRIA °C	COMPÓSITO °C					
0	29,24	45,86	16,62	-	-	-	
10	29,27	45,88	16,61	0,99	-	-	
20	29,29	46,38	17,09	1,02	-	-	
40	29,27	46,36	17,09	1,00	-	-	
80	29,36	47,88	18,52	1,08	-	-	
160	29,46	49,88	20,42	1,10	6,9287	1,66	
320	29,51	53,73	24,22	1,14	4,9366	1,00	
640	29,56	59,49	29,93	1,23	2,9485	0,48	
1280	29,56	68,80	68,80	1,31	2,1227	0,26	

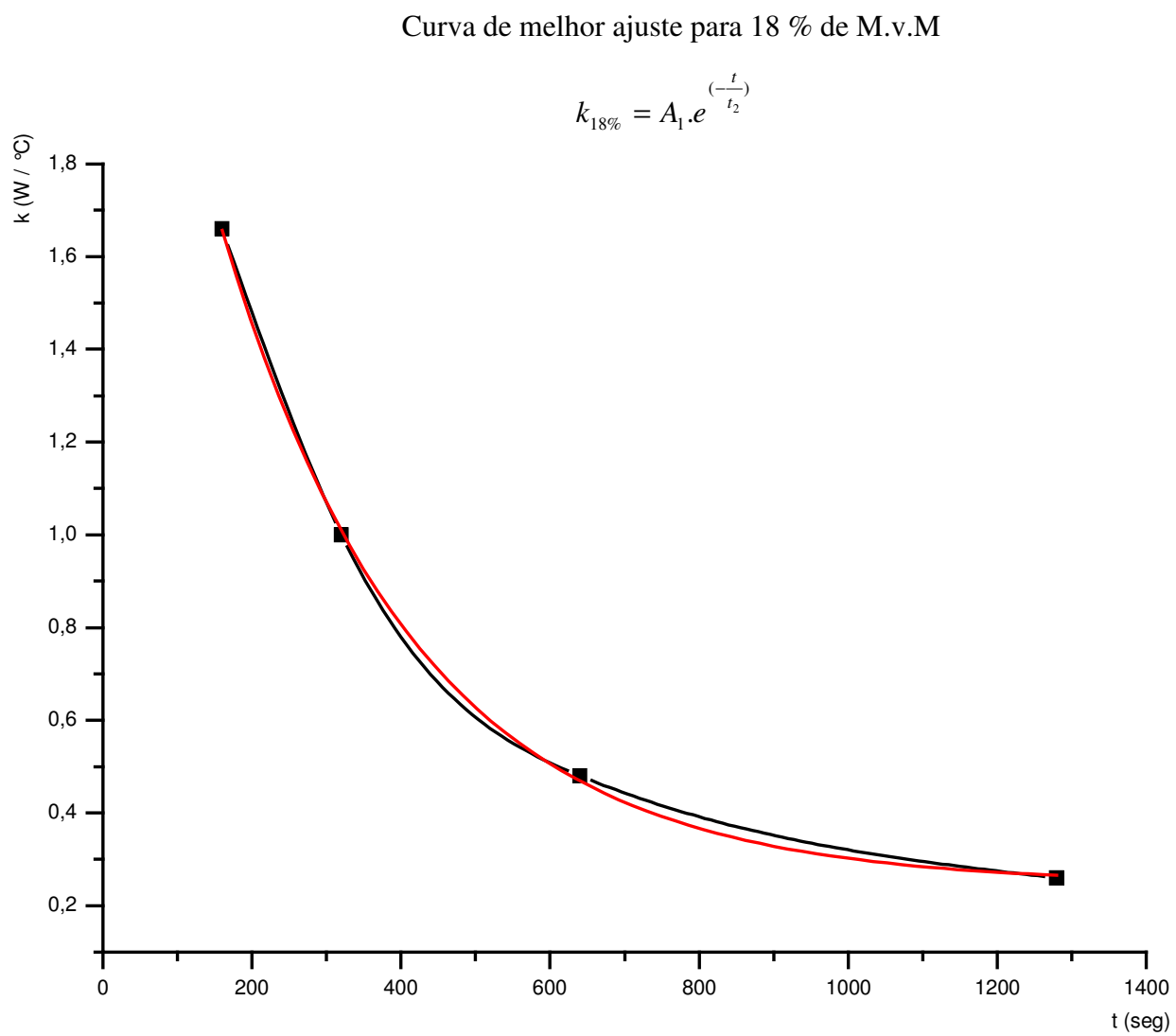


Fig. 8 – Curva da Condutividade Térmica – 18 % de M.v.M

Tabela 9 – Condutividade Térmica Instantânea
Compósitos com 20% – M.v.M

TEMPO (s)	TEMPERATURAS		$\Delta\theta(t)$ °C	$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$\frac{-Ei(\frac{-r^2}{4\alpha t})}{\Delta\theta(t)}$	k W/m°C	k_{aj} W/m°C
	JUNTA FRIA °C	COMPÓSITO °C					
0	29,24	35,39	6,15	-	-	-	
10	29,29	36,87	7,58	1,23	2,9485	1,91	
20	29,27	36,84	7,57	0,99	-	-	
40	29,29	37,82	8,53	1,12	5,7689	3,32	
80	29,31	39,27	9,96	1,16	4,3085	2,16	
160	29,34	42,15	12,81	1,28	2,3795	0,91	
320	29,41	46,50	17,09	1,33	1,9764	0,56	
640	29,44	53,18	23,74	1,38	1,06757	0,34	
1280	29,41	-61,72	32,31	1,36	1,7863	0,29	

Curva de melhor ajuste para 20 % de M.v.M

$$k_{20\%} = A_1 \cdot e^{\left(\frac{-t}{t_2}\right)}$$

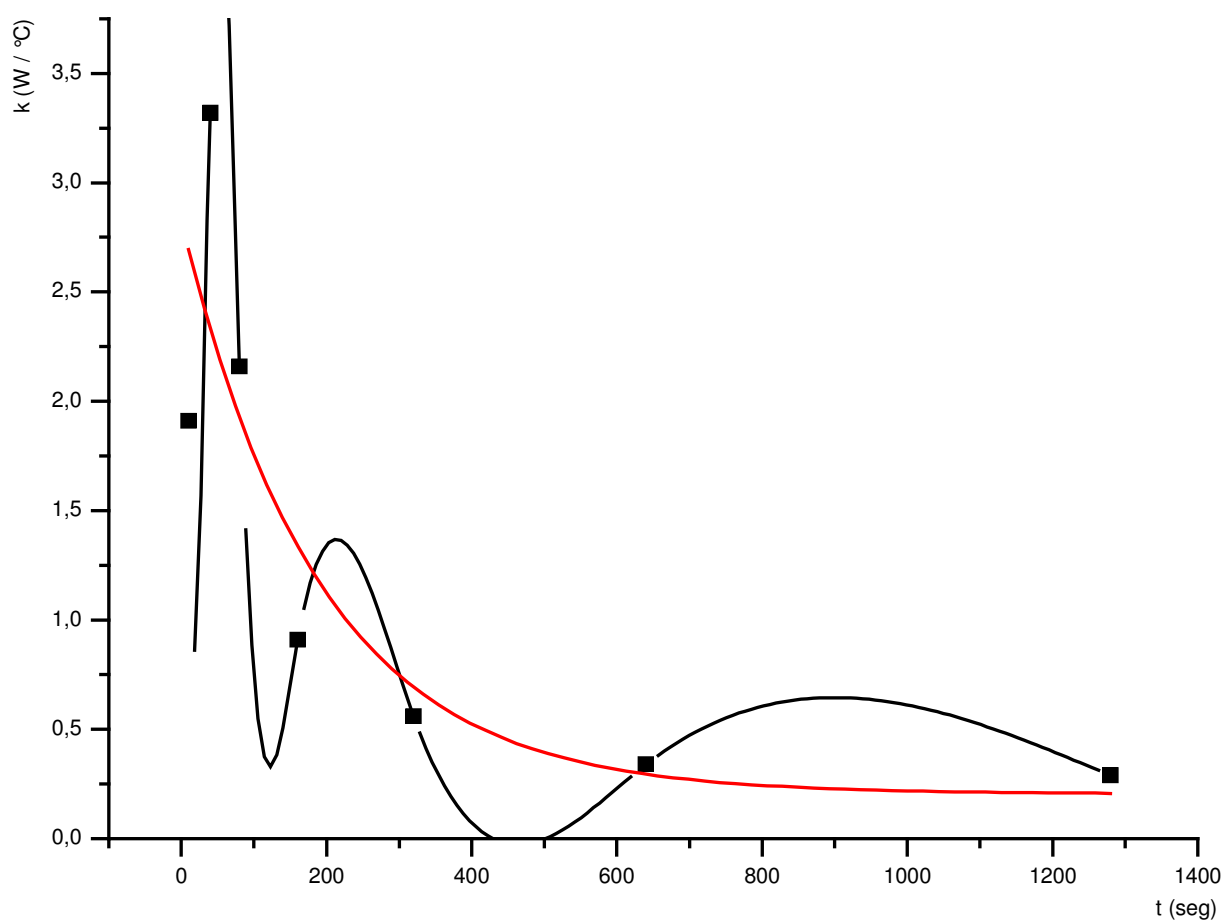


Fig. 9 – Curva da Condutividade Térmica – 20 % de M.v.M

Tabela 10 – Condutividade Térmica Instantânea
Compósitos com 22% – M.v.M

TEMPO (s)	TEMPERATURAS		$\Delta\theta(t)$ °C	$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$\frac{-Ei(\frac{-r^2}{4\alpha t})}{\Delta\theta(t)}$	k W/m°C	k_{aj} W/m°C
	JUNTA FRIA °C	COMPÓSITO °C					
0	30,34	49,33	18,99	-	-	-	
10	30,36	49,36	19,00	1,00	-	-	
20	30,39	49,86	19,47	1,02	-	-	
40	30,41	49,88	19,47	1,00	-	-	
80	30,41	50,91	20,50	1,05	-	-	
160	30,66	52,50	21,84	1,06	-	-	
320	30,83	56,01	25,18	1,15	4,6021	0,89	
640	30,66	61,06	30,40	1,20	3,4192	0,55	
1280	-30,56	-69,76	39,20	1,28	2,3795	0,29	

Curva de melhor ajuste para 22 % de M.v.M

$$k_{22\%} = A_1 \cdot e^{\left(\frac{-t}{t_2}\right)}$$

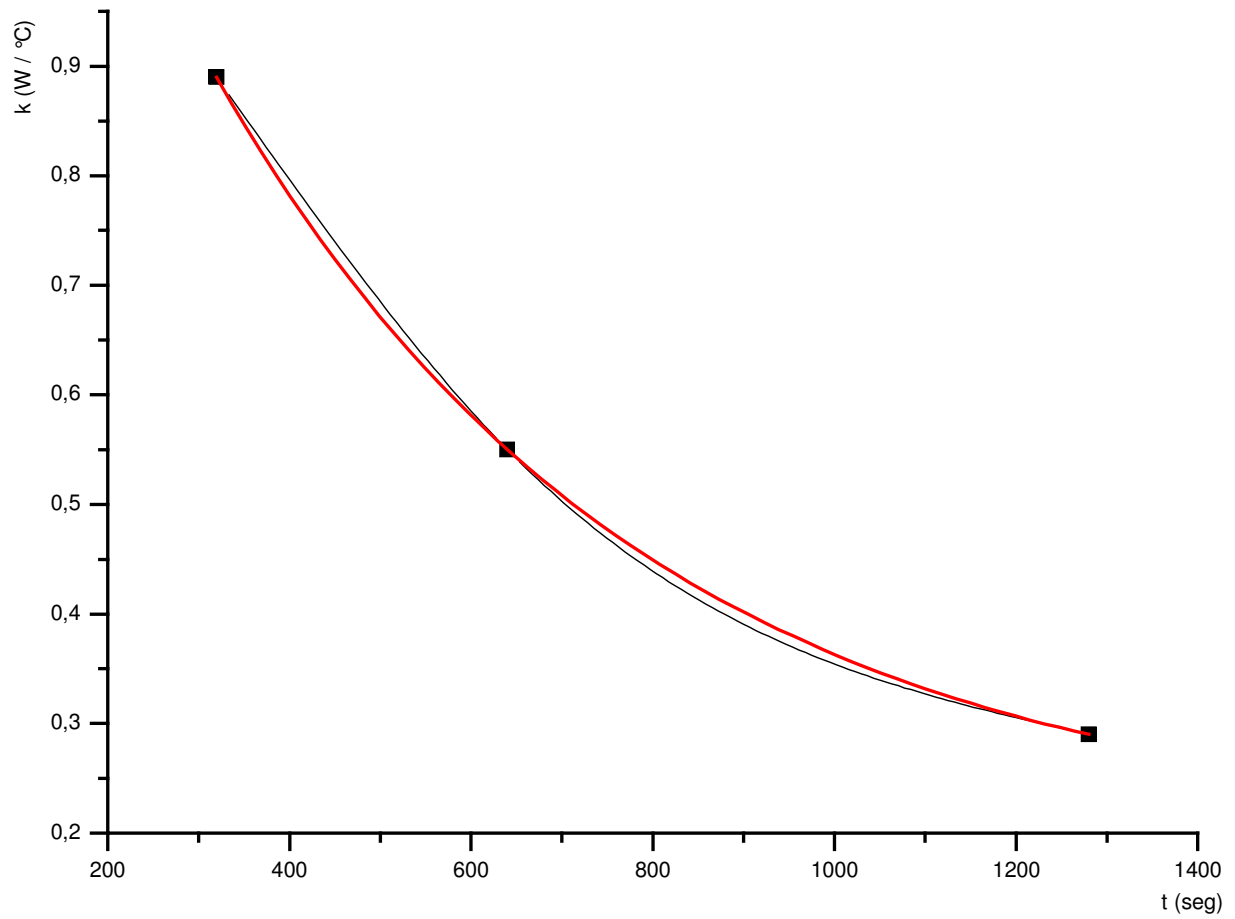


Fig. 10 – Curva da Condutividade Térmica – 22 % de M.v.M

Tabela 11 – Condutividade Térmica Instantânea
Compósitos com 25% – M.v.M

TEMPO (s)	TEMPERATURAS		$\Delta\theta(t)$ °C	$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$\frac{-Ei(\frac{-r^2}{4\alpha t})}{\Delta\theta(t)}$	k W/m°C	k_{aj} W/m°C
	JUNTA FRIA °C	COMPÓSITO °C					
0	30,22	50,16	19,94	-	-	-	
10	30,19	50,14	19,95	1,00	-	-	
20	30,34	50,76	20,42	1,02	-	-	
40	30,49	51,86	21,37	1,04	-	-	
80	30,54	52,38	21,84	1,02	-	-	
160	30,51	53,78	23,27	1,06	-	-	
320	30,39	56,04	25,65	1,10	6,9287	1,32	
640	30,19	61,07	30,85	1,20	3,4192	0,54	
1280	30,27	70,38	40,11	1,30	2,2028	0,27	

Curva de melhor ajuste para 25 % de M.v.M

$$k_{25\%} = A_1 \cdot e^{\left(\frac{-t}{t_2}\right)}$$

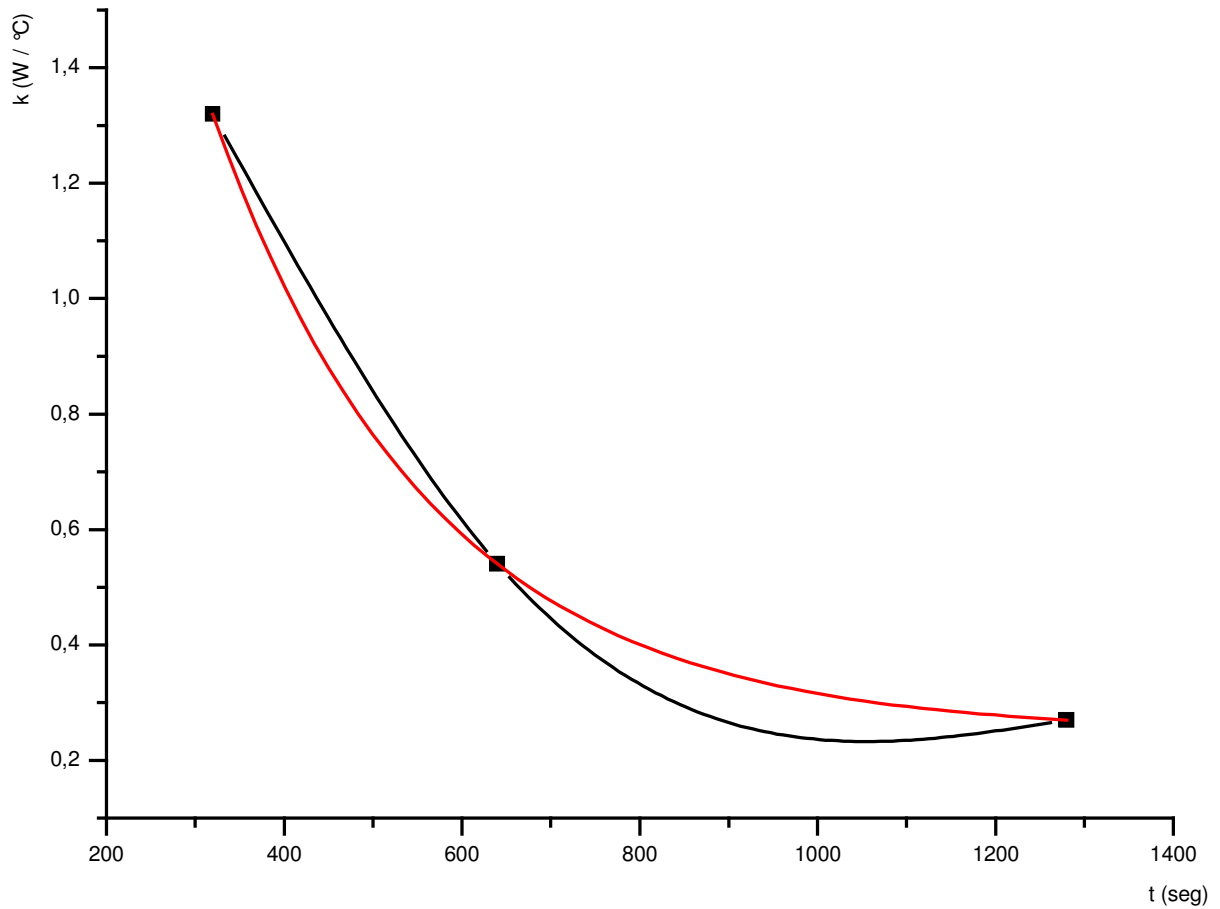


Fig. 11 – Curva da Condutividade Térmica – 25 % de M.v.M

Tabela 12 – Condutividade Térmica Instantânea
Compósitos com 27% – M.v.M

TEMPO (s)	TEMPERATURAS		$\Delta\theta(t)$ °C	$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$\frac{-Ei(\frac{-r^2}{4\alpha t})}{\Delta\theta(t)}$	k W/m°C	k_{aj} W/m°C
	JUNTA FRIA °C	COMPÓSITO °C					
0	29,63	40,06	10,43	-	-	-	
10	29,63	40,06	10,43	1,00	-	-	
20	29,66	40,56	40,56	1,04	-	-	
40	29,71	41,09	41,09	1,04	-	-	
80	29,75	42,56	42,56	1,12	5,7689	2,21	
160	29,73	44,44	44,44	1,14	4,9366	1,65	
320	29,66	48,17	48,17	1,25	2,6949	0,71	
640	29,61	53,83	53,83	1,30	2,2028	0,44	
1280	29,46	60,82	-60,82	1,29	2,2883	0,35	

Curva de melhor ajuste para 27 % de M.v.M

$$k_{27\%} = A_1 \cdot e^{\left(\frac{-t}{t_2}\right)}$$

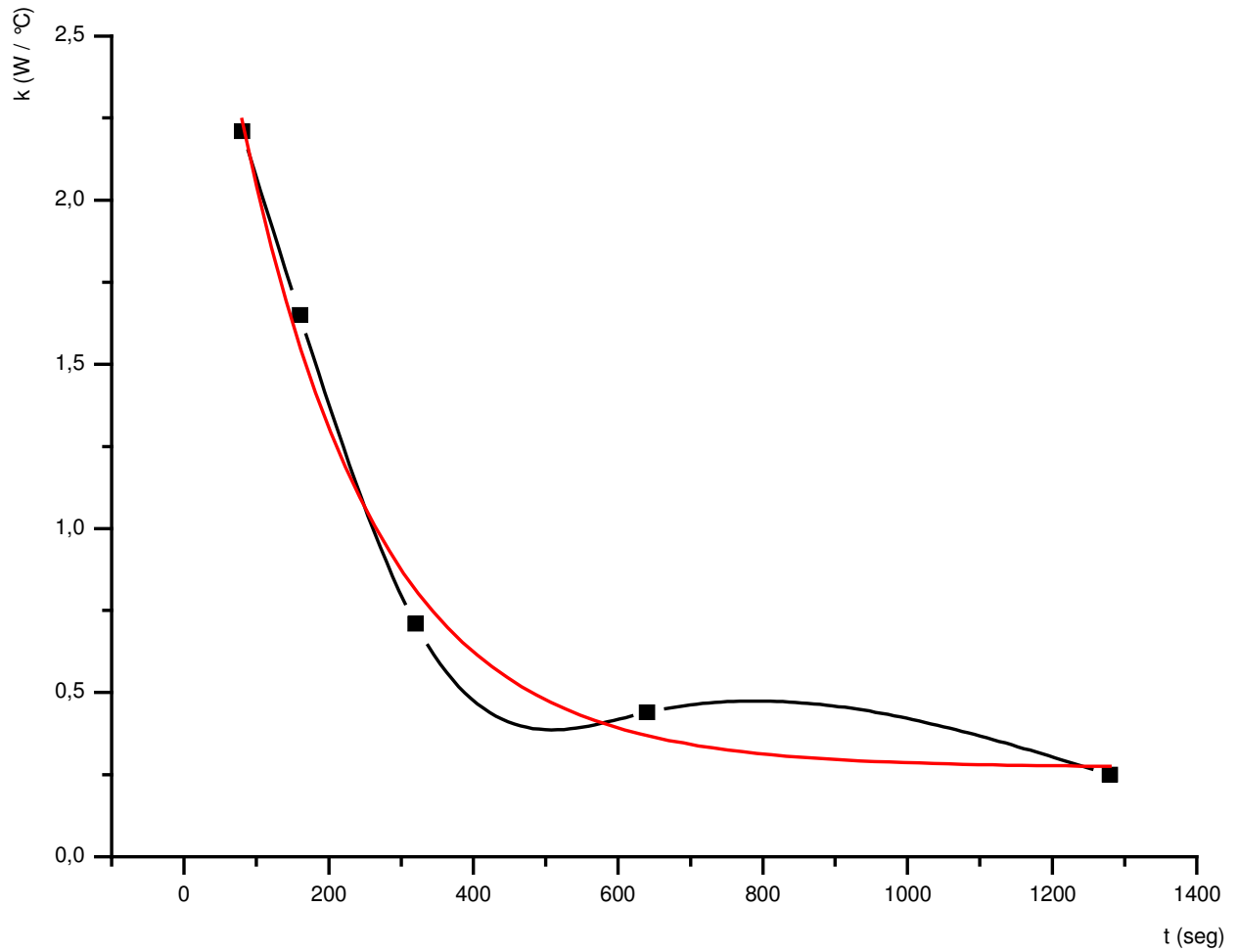


Fig. 12 – Curva da Condutividade Térmica – 27 % de M.v.M

Tabela 13 – Condutividade Térmica Instantânea
Compósitos com 30% – M.v.M

TEMPO (s)	TEMPERATURAS		$\Delta\theta(t)$ °C	$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$\frac{-Ei(\frac{-r^2}{4\alpha t})}{\Delta\theta(t)}$	k W/m°C	k_{aj} k/m°C
	JUNTA FRIA °C	COMPÓSITO °C					
0	30,66	34,43	3,77	-	-	-	
10	30,63	35,36	4,73	1,25	2,6942	2,80	
20	30,63	35,86	5,23	1,10	6,9287	2,75	
40	30,68	36,84	6,16	1,17	4,0483	1,85	
80	30,68	41,57	10,89	1,76	0,6770	0,30	
160	30,61	47,70	17,09	01,56	1,0310	0,29	
320	30,58	51,95	21,37	1,48	1,2582	0,28	
640	30,46	58,49	28,02	1,42	1,4431	0,24	
1280	30,39	68,69	38,30	1,36	1,7863	0,22	

Curva de melhor ajuste para 30 % de M.v.M

$$k_{30\%} = A_1 \cdot e^{\left(\frac{-t}{t_2}\right)}$$

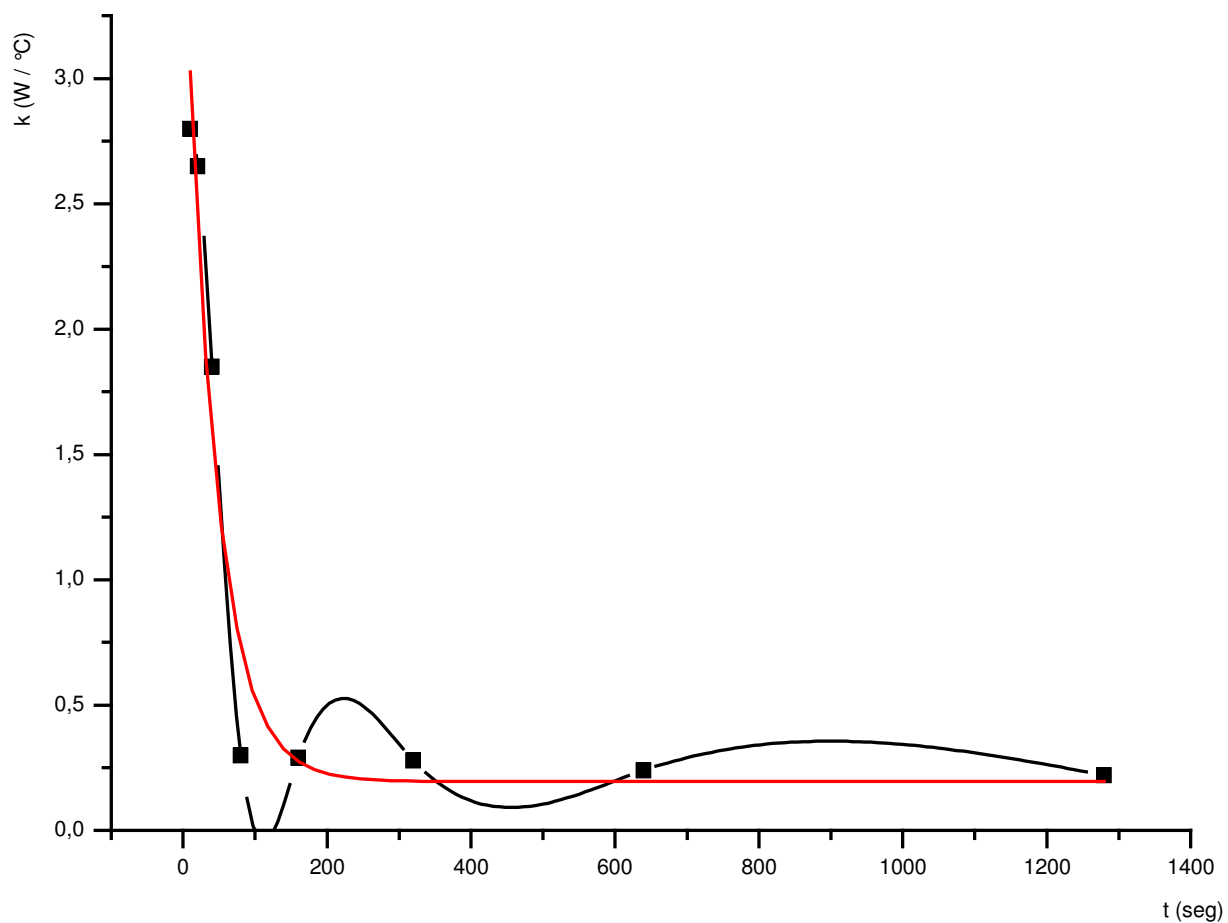


Fig. 13 – Curva da Condutividade Térmica – 30 % de M.v.M

Tabela 14 – Condutividade Térmica Instantânea
Compósitos com 35% – M.v.M

TEMPO (s)	TEMPERATURAS		$\Delta\theta(t)$ °C	$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$\frac{-Ei(\frac{-r^2}{4\alpha t})}{\Delta\theta(t)}$	k W/m°C	k_{aj} W/m°C
	JUNTA FRIA °C	COMPÓSITO °C					
0	30,02	36,65	6,63	-	-	-	
10	30,00	37,10	7,10	1,07	-	-	
20	30,00	37,58	7,58	1,06	-	-	
40	30,02	38,55	8,53	1,12	5,7682	3,03	
80	30,05	40,00	9,95	1,16	4,3085	2,13	
160	30,10	43,86	13,76	1,38	1,6757	0,59	
320	29,97	49,92	19,95	1,44	1,4028	0,41	
640	29,80	57,35	27,55	1,38	1,6757	0,30	
1280	29,56	67,44	37,80	1,37	1,7295	0,22	

Curva de melhor ajuste para 35 % de M.v.M

$$k_{35\%} = A_1 \cdot e^{\left(\frac{-t}{t_2}\right)}$$

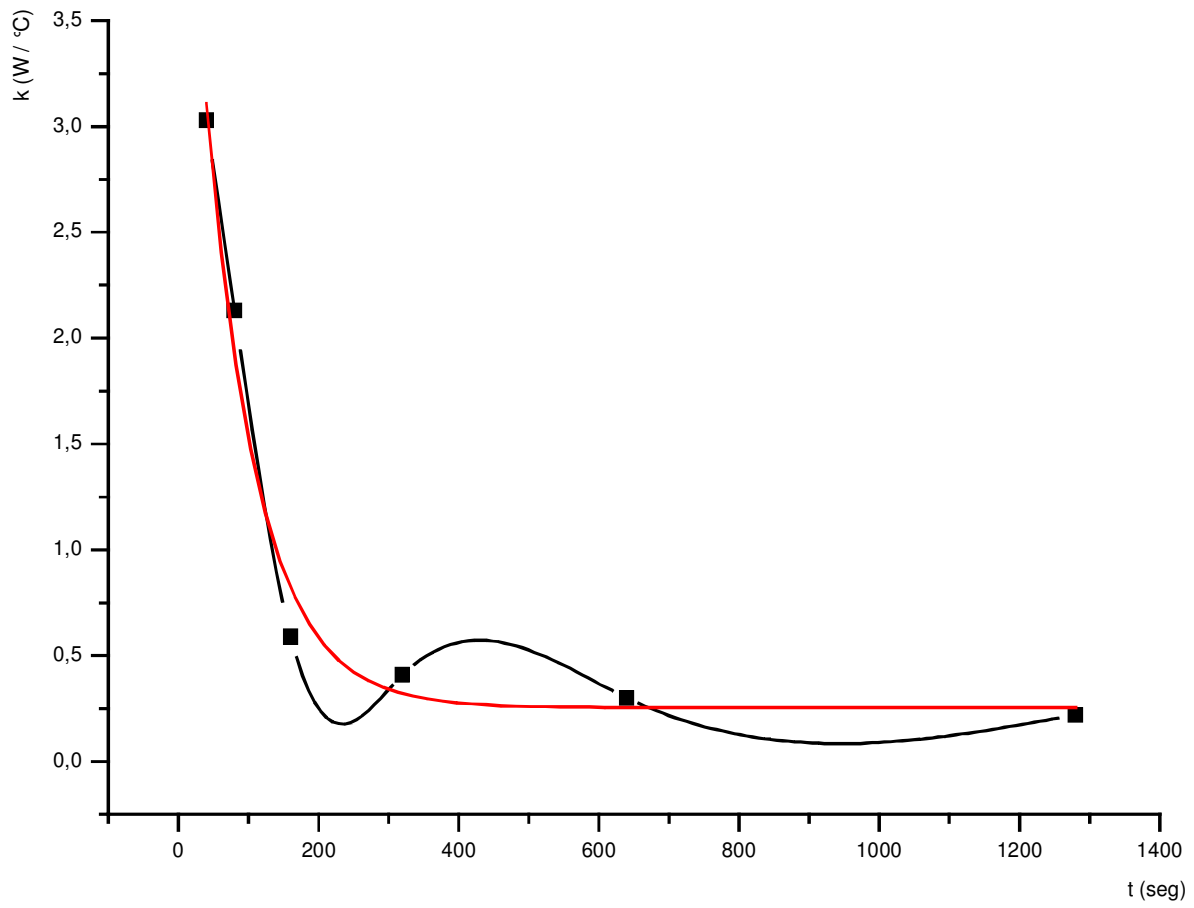


Fig. 14 – Curva da Condutividade Térmica – 35 % de M.v.M

Quadro 1 - Desvio padrão: Porosidade dos Compósitos

N	% M.vM	η %	$\bar{\eta}$ %	$\Sigma(\bar{\eta} - \eta)^2$	∂_{η}
1	0	4,422	2,348	4,301	$\pm 1,994$
2	2	0,313		4,558	
3	5	0,430		3,678	
4	7	0,091		5,094	
5	10	0,355		3,972	
6	12	0,301		4,190	
7	15	1,768		0,336	
8	18	3,253		0,819	
9	20	6,969		21,353	
10	22	2,308		0,001	
11	25	3,819		2,163	
12	27	2,831		0,233	
13	30	2,986		0,407	
14	35	3,131		0,613	
				$\Sigma = 51,716$	

Quadro 2 - Desvio padrão: Índices de Vazios dos Compósitos

N	% M.v.M	ε %	$\bar{\varepsilon}$ %	$(\varepsilon - \bar{\varepsilon})\%^2$	δ_p
1	0	4,62	2,421	4,835	2,122
2	2	0,213		4,875	
3	5	0,432		3,956	
4	7	0,090		5,433	
5	10	0,275		4,605	
6	12	0,302		4,490	
7	15	1,799		0,386	
8	18	3,362		0,885	
9	20	7,492		25,715	
10	22	2,363		0,003	
11	25	3,971		2,402	
12	27	2,913		0,242	
13	30	3,098		0,458	
14	35	3,973		0,304	
$\Sigma N = 14$	-	$\Sigma \varepsilon \% = 32,883$		$(\Sigma(\varepsilon - \bar{\varepsilon}) \% = 51,6916$	

Quadro 3 - Desvio padrão: Teor de Umidade dos Compósitos

N	% M.v.M	<i>h</i> %	$\bar{h}$ %	$(h - \bar{h})\%^2$	δ_h
1	0	4,668	2,498	4,989	$\pm 2,187$
2	2	0,268		4,972	
3	5	0,465		4,1330	
4	7	0,197		5,294	
5	10	0,296		4,840	
6	12	0,333		4,678	
7	15	1,883		0,378	
8	18	3,456		0,917	
9	20	7,586		25,908	
10	22	2,373		0,015	
11	25	4,154		2,748	
12	27	3,008		2,742	
13	30	3,253		0,295	
14	35	3,040		0,295	
$\Sigma N = 14$	-	$\Sigma h \% = 34,980$		$(\Sigma(h - \bar{h}) \%) = 62,2029$	

Quadro 4 - Desvio padrão: Calor Específico dos Compósitos

N	% M.v.M	C_p J/kg°C	$\bar{C}_p$ J/kg°C	$(C_p - \bar{C}_p)^2$ J/kg°C	δ_{C_p}
1	0	0,2168	0,2400	0,00053	± 0,076
2	2	0,1657		0,00552	
3	5	0,2630		0,00053	
4	7	0,1828		0,00327	
5	10	0,1817		0,00339	
6	12	0,1674		0,00527	
7	15	0,2093		0,00094	
8	18	0,18830		0,00321	
9	20	0,3064		0,00440	
10	22	0,2211		0,00036	
11	25	0,2076		0,00104	
12	27	0,3125		0,00518	
13	30	0,3718		0,01737	
14	35	0,3988		0,02522	
$\Sigma N = 14$	-	$\Sigma C_p = 3,3632$		$(\Sigma(C_p - \bar{C}_p)) = 0,07623$	

Quadro 5 - Desvio padrão: Condutividade Térmica – 0 % de M.vM

N	TEMPO s	k W/m°C	$\bar{k}$ W/m°C	$(k-k)^2$ W/m°C	δ_k
1	0	-	0,222	-	$\pm 0,076$
2	10	-		-	
3	20	1,39		0,1444	
4	40	4,60		12,8881	
5	80	0,31		0,0077	
6	160	0,14		0,0067	
7	320	0,26		0,0014	
8	640	0,18		0,0017	
9	1.280	0,22		-	
$\Sigma N = 9$	-	$\Sigma k = 1,11$		$(\Sigma(k - \bar{k})^2 = 0,0175$	

Quadro 6 - Desvio padrão: Condutividade Térmica – 2 % de M.vM

N	TEMPO s	k W/m°C	$\bar{k}$ W/m°C	$(k-k)^2$ W/m°C	δ_k
1	0	-	0,345	-	$\pm 0,075$
2	10	-		-	
3	20	3,20		0,1510	
4	40	1,39		1,0920	
5	80	1,04		0,4830	
6	160	0,40		0,0030	
7	320	0,42		0,0056	
8	640	0,28		0,0042	
9	1.280	0,28		0,0042	
$\Sigma N = 9$	-	$\Sigma k = 1,38$		$(\Sigma(k - \bar{k})^2 = 0,0170$	

Quadro 7 - Desvio padrão: Condutividade Térmica – 5 % de M.vM

N	TEMPO s	k W/m°C	$\bar{k}$ W/m°C	$(k-k)^2$ W/m°C	δ_k
1	0	-	0,526	-	$\pm 0,0273$
2	10	6,40		34,5038	
3	20	6,67		37,7487	
4	40	6,54		36,1681	
5	80	2,96		5,9243	
6	160	3,19		7,068	
7	320	0,77		0,0595	
8	640	0,58		0,0029	
9	1.280	0,23		0,0876	
$\Sigma N = 9$	-	$\Sigma k = 1,58$		$(\Sigma(k - \bar{k})^2 = 0,1500$	

Quadro 8 - Desvio padrão: Condutividade Térmica – 7% de M.vM

N	TEMPO s	k W/m°C	$\bar{k}$ W/m°C	$(k-k)^2$ W/m°C	δ_k
1	0	-	0,425	-	$\pm 0,034$
2	10	-		-	
3	20	-		-	
4	40	3,42		8,9700	
5	80	-		-	
6	160	-		-	
7	320	1,18		0,5700	
8	640	0,45		0,0006	
9	1.280	0,40		0,0006	
$\Sigma N = 9$	-	$\Sigma k = 0,85$		$(\Sigma(k - \bar{k})^2 = 0,0012$	

Quadro 9 – Desvio padrão: Condutividade Térmica – 10 % de M.vM

N	TEMPO s	k W/m°C	$\bar{k}$ W/m°C	$(k-k)^2$ W/m°C	δ_k
1	0	-	0,573	-	$\pm 0,305$
2	10	-		-	
3	20	-		-	
4	40	-		-	
5	80	-		-	
6	160	-		-	
7	320	0,89		0,1007	
8	640	0,55		0,0005	
9	1.280	0,28		0,0858	
$\Sigma N = 9$	-	$\Sigma k = 1,72$		$(\Sigma(k - \bar{k})^2 = 0,187$	

Quadro 10 - Desvio padrão: Condutividade Térmica – 12% de M.vM

N	TEMPO s	k W/m°C	$\bar{k}$ W/m°C	$(k-k)^2$ W/m°C	δ_k
1	0	-	0,410	-	$\pm 0,183$
2	10	-		-	
3	20	-		-	
4	40	2,41		4,0000	
5	80	-		-	
6	160	1,65		1,5376	
7	320	1,01		0,3600	
8	640	0,54		0,0169	
9	1.280	0,28		0,0169	
$\Sigma N = 9$	-	$\Sigma k = 0,82$		$(\Sigma(k - \bar{k})^2 = 0,0338$	

Quadro 11 - Desvio padrão: Condutividade Térmica – 15% de M.vM

N	TEMPO s	k W/m°C	$\bar{k}$ W/m°C	$(k-k)^2$ W/m°C	δ_k
1	0	-	0,436	-	$\pm 0,236$
2	10	-		-	
3	20	-		-	
4	40	-		-	
5	80	6,2964		34,3442	
6	160	4,9366		20,2554	
7	320	0,690		0,0645	
8	640	0,400		0,0012	
9	1.280	0,220		0,0465	
$\Sigma N = 9$	-	$\Sigma k = 1,310$		$(\Sigma(k - \bar{k})^2 = 0,1123$	

Quadro 12 - Desvio padrão: Condutividade Térmica – 18% de M.vM

N	TEMPO s	k W/m°C	$\bar{k}$ W/m°C	$(k-k)^2$ W/m°C	δ_k
1	0	-	0,503	-	$\pm 0,255$
2	10	-		-	
3	20	-		-	
4	40	-		-	
5	80	-		-	
6	160	1,660		1,3386	
7	320	0,770		0,07128	
8	640	0,480		0,0005	
9	1.280	0,260		0,0590	
$\Sigma N = 9$	-	$\Sigma k = 0,503$		$(\Sigma(k - \bar{k})^2 = 0,1307$	

Quadro 13 - Desvio padrão: Condutividade Térmica – 20% de M.vM

N	TEMPO s	k W/m°C	$\bar{k}$ W/m°C	$(k-\bar{k})^2$ W/m°C	δ_k
1	0	-	0,525	-	$\pm 0,282$
2	10	1,910		1,9182	
3	20	-		-	
4	40	3,320		7,9182	
5	80	2,160		2,632	
6	160	0,910		0,1482	
7	320	0,560		0,0012	
8	640	0,340		0,0342	
9	1.280	0,290		0,0552	
$\Sigma N = 9$	-	$\Sigma k = 2,100$		$(\Sigma(k - \bar{k})^2 = 0,2388$	

Quadro 14 - Desvio padrão: Condutividade Térmica – 22% de M.vM

N	TEMPO s	k W/m°C	$\bar{k}$ W/m°C	$(k-\bar{k})^2$ W/m°C	δ_k
1	0	-	0,576	-	$\pm 0,300$
2	10	-		-	
3	20	-		-	
4	40	-		-	
5	80	-		-	
6	160	-		-	
7	320	0,890		0,0985	
8	640	0,550		0,0006	
9	1.280	0,290		0,0817	
$\Sigma N = 9$	-	$\Sigma k = 1,730$		$(\Sigma(k - \bar{k})^2 = 0,1808$	

Quadro 15 - Desvio padrão: Condutividade Térmica – 25% de M.vM

N	TEMPO s	k W/m°C	$\bar{k}$ W/m°C	$(k-\bar{k})^2$ W/m°C	δ_k
1	0	-	0,405	-	$\pm 0,190$
2	10	-		-	
3	20	-		-	
4	40	-		-	
5	80	-		-	
6	160	-		-	
7	320	1,320		0,8372	
8	640	0,540		0,0182	
9	1.280	0,270		0,0182	
$\Sigma N = 9$	-	$\Sigma k = 0,810$		$(\Sigma(k - \bar{k})^2 = 0,0364$	

Quadro 16 - Desvio padrão: Condutividade Térmica – 27% de M.vM

N	TEMPO s	k W/m°C	$\bar{k}$ W/m°C	$(k-\bar{k})^2$ W/m°C	δ_k
1	0	-	0,500	-	$\pm 0,187$
2	10	-		-	
3	20	-		-	
4	40	-		-	
5	80	2,210		2,9241	
6	160	1,650		1,3225	
7	320	0,710		0,0441	
8	640	0,440		0,0036	
9	1.280	0,350		0,0225	
$\Sigma N = 9$	-	$\Sigma k = 1,500$		$(\Sigma(k - \bar{k})^2 = 0,0702$	

Quadro 17 - Desvio padrão: Condutividade Térmica – 30 % de M.vM

N	TEMPO s	k W/m°C	$\bar{k}$ W/m°C	$(k-\bar{k})^2$ W/m°C	δ_k
1	0	-	0,360	-	$\pm 0,154$
2	10	2,800		5,9536	
3	20	6,510		37,8225	
4	40	3,230		8,2369	
5	80	0,300		0,0035	
6	160	0,290		0,0049	
7	320	0,620		0,0676	
8	640	0,370		0,0001	
9	1.280	0,220		0,0196	
$\Sigma N = 9$	-	$\Sigma k = 1,800$		$(\Sigma(k - \bar{k})^2 = 0,0958$	

Quadro 18 - Desvio padrão: Condutividade Térmica – 35% de M.vM

N	TEMPO s	k W/m°C	$\bar{k}$ W/m°C	$(k-\bar{k})^2$ W/m°C	δ_k
1	0	-	0,380	-	$\pm 0,160$
2	10	-		-	
3	20	-		-	
4	40	3,030		7,0225	
5	80	2,130		3,0625	
6	160	0,590		0,0441	
7	320	0,410		0,0009	
8	640	0,300		0,0064	
9	1.280	0,220		0,0256	
$\Sigma N = 9$	-	$\Sigma k = 1,520$		$(\Sigma(k - \bar{k})^2 = 0,0770$	

Quadro 19 – Mapa Resumo: Condutividade – Porosidade

% M.v.M	$\bar{k}$ W/m°C	C_p	η %	CONDUTIVIDADE PARA OS TEMPOS	
				640 seg	1.280 seg
0	0,228	0,0760	4,42	0,18	0,22
2	0,345	0,0750	0,31	0,42	0,28
5	0,526	0,0273	0,43	0,58	0,23
7	0,425	0,0340	0,09	0,45	0,40
10	0,573	0,3050	0,35	0,55	0,28
12	0,410	0,1830	0,30	0,54	0,28
15	0,436	0,2360	1,76	0,40	0,22
18	0,503	0,2550	3,25	0,48	0,26
20	0,525	0,2820	6,96	0,34	0,29
22	0,576	0,3000	2,30	0,55	0,29
25	0,405	0,1900	3,81	0,54	0,27
27	0,500	0,1870	2,83	0,44	0,35
30	0,360	0,1540	2,98	0,37	0,22
35	,380	0,1600	3,13	0,30	0,22

Quadro 20 – Condutividade e Percentuais por Grupos

Base de Comparação: Argamassa de Gesso: $k = 0,53 \text{ W/m}^\circ \text{C}$

GRUPOS	% M.v.M	K W/m°C	% POR GRUPOS	(0,22 a 0,35) < k = 0,40
I	0	0,22	28,57	92,80
	15			
	30			
	35			
II	5	0,23	7,14	
III	18	0,26	7,14	
IV	25	0,27	7,14	
V	2	0,28	21,43	
	10			
	12			
VI	20	0,29	14,28	
	22			
VII	27	0,35	7,14	
VIII	7	0,40	7,14	7,20
TOTAL			100,00	100,00

Quadro 21 – Teste de Granulometria por via Úmida

# PENEIRA	DIS	PESO RETIDO ACUMULADO (g)	% RETIDO ACUMULADO g)	% DE PESO QUE PASSA
16	1,180	0,29	0,19	99,80
30	0,600	2,33	1,55	98,40
40	0,420	20,57	13,71	86,20
50	0,330	49,77	33,18	66,80
100	0,150	71,96	47,97	52,00
200	0,075	117,86	78,57	21,40

Nota: Pesquisa realizada no laboratório de solos do Dept. de Estradas - UEMA

ANEXOS

22 - Características Físicas e Mecânicas das Fibras Vegetais -Amianto e Polipropileno – Experiência Brasileira

PROPRIEDADES FIBRAS	MASSA ESPECÍFICA REAL Kg/m³	ABSORÇÃO MÁXIMA (%)	ALONGAMENTO NA RUPTURA (mm)	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO Mpa	MÓDULO DE ELASTICIDADE GPa
Banana (<i>Musa cavendishii</i>).	1031	407	2,70	384	20 a 51
Amianto crisólita	2200 a 2600		2	750	164
Celulose para papel de imprensa (<i>Pinuselliottii</i> -princ.)	1200 a 1500	400	Nd	300 a 500	10 a 40
Polipropileno Comum (Filam)	913		26	250	20
Coco (<i>Cocos Nucifera</i>)	1177	93,8	23,9 a 51,4	95 a 118	2,8
Sisal (<i>Agave Sisalana</i>)	1370	110	4.9 a 5.4	347 a 378	15,2
Malva (<i>Urena lobata</i>)	1409	182,2	5,2	160	17,4
Bambu (<i>Banbusa vulgares</i>)	1158	145	3,2	73 a 505	5,1 a 24,6
Juta (<i>Corchuros capsularis</i>)	nd	214	3,7 a 6,5	230	Nd
Piaçava (<i>Attalea Funifera</i>)	1054	34,4 a 108	6	143	5,6

Fontes: Agopyan; Salvastrano Jr. (1997), Nolasco et. (1998) e Swamy (1998)

nd: Informação não disponível

Quadro 23 - Características Morfológica e Propriedades das Fibras de *Mauritia vinifera* Martius

CARACTERÍSTICAS Morfológicas/Propriedades	D E N S I D A D E S F I B R A S			
	Média	Máxima	Mínimo	Desvio Padrão
Comprimento da fibra (mm)	1.6	2.65	1.00	0.37
Largura da fibra (mm)	10.03	12.50	5.00	1.76
Diâmetro do lume (mm)	3.42	7.50	1.75	1.46
Espessura da parede (mm)	3.30	5.00	1.25	0.92
Coefficiente de flexibilidade (%)	34.27	75.00	20.00	12.88
Índice de enfeltramento (%)	165.25	316.00	87.20	46.85
Fração parede (%)	65.73	80.00	25.00	12.88
Índice de Runkel	2.29	4.00	0.33	1.05
Índice de Boiler	0.78	0.92	0.28	0.15
Índice de Mulsteph	0.87	0.96	0.44	0.11

Fonte: Tese (PEREIRA, 2001)

Quadro 24- Common Thermocouple Systems

TYPE	COMMON NOME	POSITIVE ELEMENT	NEGATIVE ELEMENT	RECOMMENDED	MAXIMUM SERVICE TEMP (°C)
B	Platinum-rhodium/ platinum-rhodium	70 Pt-30 Rh	94 Pt-6 Rh	Oxidizing Vacuum Inert	1700
E	Chromel/constantan	90 Ni-9 Cr	44 Ni-55 Cu	Oxidizing	870
I	Iron/constantan	Fe	44 Ni-55 Cu	Oxidizing Reducing	760
K	Chromel/alumel	90 Ni-9 Cr	94 Ni-Al, Mn, Fe, Si, Co	Oxidizing	1260
R	Platinum//platinum- rhodium	87 Pt-Rh	Pt	Oxidizing Inert	1480
S	Platinum/platinum- rhodium	90 Pt-10Rh	Pt	Oxidizing	1480
T	Copper/Constantan	Cu	44 Ni-55 Cu	Oxidizing Reducing	370

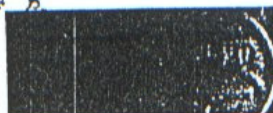
Fonte: não definida (Revista)

INTERNATIONAL
STANDARD

ISO
8894-2

First edition:
1990-11-15

Assoc. D.



**Refractory materials — Determination of
thermal conductivity —**

**Part 2:
Hot-wire method (parallel)**

*Matériaux réfractaires — Détermination de la conductivité thermique —
Partie 2: Méthode du fil chaud (parallèle)*



Reference number
ISO 8894-2 : 1990 (E)

Foreword

ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work. ISO collaborates closely with the International Electrotechnical Commission (IEC) on all matters of electrotechnical standardization.

Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for voting. Publication as an International Standard requires approval by at least 75 % of the member bodies casting a vote.

International Standard ISO 8894-2 was prepared by Technical Committee ISO/TC 33, *Refractories*, Sub-Committee SC 2, *Methods of testing*.

ISO 8894 consists of the following parts, under the general title *Refractory materials — Determination of thermal conductivity*:

- Part 1: *Hot-wire method (cross-array)*
- Part 2: *Hot-wire method (parallel)*

Annexes A and B of this part of ISO 8894 are for information only.

© ISO 1990

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Organization for Standardization
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Switzerland
Printed in Switzerland

Refractory materials — Determination of thermal conductivity —

Part 2 : Hot-wire method (parallel)

Assoc. Rep. Normas Técnicas
BIBLIOTECA

1 Scope

1.1 This part of ISO 8894 specifies a hot-wire method for the determination of the thermal conductivity of refractory products and materials.

1.2 The method is applicable at temperatures up to and including 1 250 °C and to materials whose thermal conductivity is less than 25 W/(m·K). Electrically conducting materials are excluded.

1.3 Subject to the limits in 1.2 the method is applicable to powdered or granular materials (see 7.2).

NOTES

1 The thermal conductivity of bonded bricks and of prepared unshaped (monolithic) refractories may be affected by the appreciable amount of water that is retained after hardening or setting and is released on firing. These materials may therefore require pre-treatment; the nature and extent of such pre-treatment and the period for which the test piece is held at the measurement temperature, as a preliminary to carrying out the test, are details that are outside the scope of this part of ISO 8894 and should be agreed between the parties concerned.

2 In general it is difficult to make measurements on anisotropic materials, particularly those containing fibres, and the use of this method for such materials should also be agreed between the parties concerned.

1.4 The determination of thermal conductivity by the hot-wire method (cross-array) is the subject of ISO 8894-1.

2 Normative references

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of ISO 8894. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this part of ISO 8894 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

ISO 5022 : 1979, *Shaped refractory products — Sampling and acceptance testing*.

ISO 8894-1 : 1987, *Refractory materials — Determination of thermal conductivity — Part 1: Hot-wire method (cross-array)*.

3 Definitions

For the purposes of this part of ISO 8894, the following definitions apply.

3.1 thermal conductivity, λ : Density of heat flow rate divided by temperature gradient.

The unit of thermal conductivity is the watt per metre-kelvin.

3.2 thermal diffusivity, α : Thermal conductivity divided by heat capacity per unit volume.

The unit of thermal diffusivity is the metre squared per second.

3.3 power, P : Product of current and potential difference.

The unit of power is the watt (volt-amperes).

4 Principle

The hot-wire method (parallel) is a dynamic measuring procedure based on the measurement of the temperature increase at a certain location and at a specified distance from a linear heat source embedded between two test pieces.

The test pieces are heated in a furnace to a specified temperature and maintained at that temperature. Further local heating is provided by a linear electrical conductor (the hot wire) that is embedded in the test piece and carries an electrical current of known power that is constant in time and along the length of the test piece.

A thermocouple is fitted at a specified distance from the hot wire, the thermocouple leads running parallel to the wire (see figure 1). The increase in temperature as a function of time.

measured from the moment the heating current is switched on, is a measure of the thermal conductivity of the material of which the test pieces are made.

5 Apparatus

5.1 Furnace, electrically heated, capable of taking one or more test assemblies (see 6.2) up to a maximum temperature of 1 250 °C. The temperature at any two points in the region occupied by the test pieces shall not differ by more than 10 °C. The temperature measured on the outside of the test assembly during a test (of duration about 15 min) shall not vary by more than $\pm 0,5$ °C, and shall be known with an accuracy of ± 5 °C.

5.2 Hot wire, preferably of platinum or platinum/rhodium, about 200 mm in length and not exceeding 0,5 mm in diameter, the actual length being known to within $\pm 0,5$ mm. One end of the wire is attached to the lead for supply of the heating current. This may also be a continuation of the wire itself, and shall in any case be of the same diameter as the wire when within the assembly. The other end is attached to a lead for measurement of voltage drop, which shall be of diameter not greater than that of the hot wire when within the assembly. Leads outside the assembly shall consist of two or more tightly twisted 0,5 mm diameter wires. External to the furnace the current lead connections shall be made with heavy-gauge cable (20 A/2,5 mm²).

NOTE — A hot wire made of base metal is also permitted, in which event the lead wires shall be made of the same material and shall conform in other respects to the requirements of this sub-clause.

5.3 Power supply to the hot wire, stabilized a.c., not varying in power by more than 2 % during the period of measurement. A supply to the hot wire of at least 80 W is required (equivalent to 250 W/m for a 200 mm long wire). A constant power supply, if available, is to be preferred.

5.4 Differential platinum/platinum-rhodium thermocouple (Type R or S), formed from a measurement thermocouple and a reference thermocouple connected in opposition (see figure 1). The leads of the measurement thermocouple shall run parallel to the hot wire at a distance of 15 mm $\pm$ 1 mm (see figure 2). The output of the reference thermocouple shall be kept stable by placing it between the top outer face of the upper test piece and a cover of the same material as the test piece (see figure 1). The diameter of the thermocouple wires shall be the same as that of the hot wire and the thermocouple wires shall be long enough to extend outside the furnace where connections to the measuring apparatus shall be made by wire of a different type. The external connections of the thermocouple shall be isothermal.

NOTES

1 Base metal thermocouples are also permitted for use at temperatures below 1 000 °C.

2 An insulating layer between the cover and the upper test piece is allowed.

5.5 Digital multimeter, for measuring the current in the hot wire and the voltage drop across it, and capable of measuring both to an accuracy of at least $\pm 0,5$ %.

NOTE — An instrument of class 0.2 or better (see IEC 51-2: 1984, *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories — Part 2: Special requirements for ammeters and voltmeters*) is suitable.

5.6 Data acquisition system.

A temperature-time registration device with a sensitivity of at least 2 μ V/cm or 0,05 μ V/Digit, with a time resolution better than 0,5 s, and a temperature measurement to 0,05 K.

5.7 Containers (for use if the test is performed on powdered or granular material), having internal dimensions equal to those of the solid test assembly specified in clause 6, so that the test assembly shall consist of two sections as specified in 6.2. The bottom container shall have four sides and a base, and the top container shall have four sides only, plus a detachable cover (see figure 3).

6 Test pieces

6.1 Sampling

The number of items of the material to be tested shall be determined in accordance with ISO 5022 or another standard sampling plan.

6.2 Dimensions

Each test assembly shall consist of two identical test pieces, not less than 200 mm $\times$ 100 mm $\times$ 50 mm in size.

NOTE — It is recommended that the size of each test piece be 230 mm $\times$ 114 mm $\times$ 64 mm or 230 mm $\times$ 114 mm $\times$ 76 mm. Standard-size bricks may then be used as the pieces forming the test assembly, subject to the requirements of 6.3.

6.3 Surface flatness

The surfaces of the two test pieces forming the test assembly which are in contact with each other shall, if necessary, be ground so that the deviation from flatness between two points not less than 100 mm apart is not more than 0,2 mm.

6.4 Groove in dense materials

In dense materials, a groove to accommodate the hot wire and the thermocouple shall be machined in either both the contact faces or in the lower face only of the test assembly (see figure 4). The width and depth of the groove shall permit the arrangement shown in figure 4 to be achieved, where required.

NOTE — Grooves in both faces will be necessary for materials of higher conductivity, e.g. greater than 5 W/(m·K).

7 Procedure

7.1 Arrange the test assembly ready for testing. Place the hot wire (5.2) and differential thermocouple (5.4) between the two test pieces, with the hot wire along the centreline of the brick

faces in contact with each other and cement them into the grooves where appropriate, using a cement made from finely ground test material mixed with a small amount of a suitable binder (e.g. 2 % dextrin and water). Ensure that the wires are cemented evenly, to allow equal heat transfer to the two test pieces, as shown in figure 4.

7.2 If the test is being performed on powdered or granular material, fill the bottom container (5.7) with the test material up to its top, and place on it the hot wire and differential thermocouple as shown in figure 1. Place the top container (5.7) on the bottom one and fill with the test material. Cover the test assembly with a slab of the same material as that of the containers. Determine the apparent bulk density of the test material in the poured, untamped state.

NOTE — The container may be filled by vibration or by pressing to give a specific bulk density, where a figure has been agreed upon.

7.3 Place the test assembly in the furnace (5.1), resting each assembly (to ensure uniform heating) on three supports of a material similar to that being tested and having dimensions of 125 mm × 10 mm × 20 mm. The supports shall rest on a 125 mm × 10 mm face, and be placed parallel to the 114 mm × 76 mm (or 100 mm × 50 mm) faces of the test assembly about 20 mm in from these faces.

7.4 Connect the test assembly to the measuring apparatus (5.5). With the hot-wire circuit open, raise the temperature of the furnace, at not more than 10 K/min, to the first test temperature required.

NOTE — Heating rates should be low enough to ensure that there is no risk of thermal shock damage.

7.5 Set the power input to a value that (from preliminary tests) is known to produce, for a chosen recorder sensitivity, an instrument deflection of at least 60 %, and preferably about 80 %, of full-scale deflection.

A guide to the choice of power input for a range of thermal conductivities and for a range of recorder sensitivities is given

in table 1. The power levels are based on a recorder deflector of $0,8 \times$ full-scale deflection for a given maximum duration of the test (t_{max}), and table 1 also shows the required accuracy for the measurement of time (accuracy t).

NOTE — The appropriate level of power input to the hot wire will differ from equipment to equipment and needs to be evaluated in preliminary tests, but may eventually be based on experience.

7.6 When the furnace reaches the test temperature, verify that the temperature in the region occupied by the test assembly is uniform and constant. The differential thermocouple (5.4) shall not show a variation of more than $0,05^\circ\text{C}$ over a period of 10 min immediately prior to the test.

7.7 When the conditions of 7.6 are met, close the heating circuit and make a record of the output of the differential thermocouple with time. Mark the exact moment the power input to the hot wire was made. If not using an automatically controlled power supply, measure and record the voltage drop across the hot wire and the current in it immediately after switching on the heating circuit and again at intervals during the test period.

7.8 After an appropriate heating time (see table 1), disconnect the heating circuit and discontinue recording the output of the differential thermocouple.

7.9 Allow time for the hot wire and test assembly to reach temperature equilibrium. Verify the uniformity and constancy of the temperature as specified in 7.6. Repeat the procedures of 7.7 and 7.8, so obtaining a further measurement of the rate of rise of temperature of the hot wire under the same conditions.

7.10 Raise the temperature of the furnace to the next higher test temperature at not more than 10 K/min. Carry out again the procedure described in 7.5 to 7.9.

7.11 Repeat the procedure of 7.10 until at least two measurements have been obtained at each of the required test temperatures.

Table 1 — Recommended choice of scales and of power level
(based on a deflection of 0,8 × full-scale)

Thermal conductivity, λ W/(m·K)	Maximum duration of test $t_{\max}$ s	Accuracy of measurement of t s	Recommended power level (W/m)			
			0 to 20 μ V scale	0 to 50 μ V scale	0 to 100 μ V scale	0 to 300 μ V scale
0,1	2 500	4,0			7,5	15
0,4	1 260	2,0		15	30	60
1,0	900	2,0	15	40	75	150
2,0	450	1,0	30	75	150	—
4,0	350	1,0	60	150	300	—
8,0	190	0,4	120	300	—	—
16	100	0,2	240	—	—	—
25	65	0,2	375	—	—	—

NOTE — The figures in table 1 are based on the use of type "S" thermocouples (see 5.4), and should be adjusted if a type "R" thermocouple is used.

8 Expression of results

Calculate the thermal conductivity, λ , of the material, in watts per metre kelvin, at each test temperature from the equation

$$\lambda = \frac{V \cdot I}{4\pi l} \times \frac{-\text{Ei}\left(\frac{-r^2}{4at}\right)}{\Delta\theta(t)}$$

where

I is the heating current, in amperes;

V is the voltage, in volts;

l is the length, in metres, of the hot wire between the voltage taps P and Q in figure 2;

$\Delta\theta(t)$ is the temperature difference, in kelvins, between the measurement and reference thermocouples at time t ;

t is the period of time, in seconds, between switching on and switching off the heating circuit;

r is the separation, in metres, of the hot wire and the measurement thermocouple;

a is the thermal diffusivity, in square metres per second;

$-\text{Ei}\left(\frac{-r^2}{4at}\right)$ is an exponential integral of the form

$$\int_x^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$$

After determining $\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$, the expression

$$-\text{Ei}\left(\frac{-r^2}{4at}\right) \text{ is calculated from table 2.}$$

The values of λ which can be considered accurate are those which correspond to values of $\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$ between 1,5 and 2,4.

9 Test report

The test report shall include the following information:

- the testing establishment;
- the date of the test;
- reference to this part of ISO 8894;
- the material tested (manufacturer, product, type, batch number, etc.);
- any pre-treatment given to the test material (see note 1 to clause 1);
- in the case of powders or granular materials, the apparent bulk density in the poured, untamped state (see 7.2);
- the furnace atmosphere;
- the test temperature or temperatures and, for each of them, the individual and mean values of thermal conductivity.

Table 2 — $-Ei\left(\frac{-r^2}{4at}\right)$ as a function of $\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$

$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,1	6,928 7	6,296 6	5,768 9	5,321 3	4,936 6	4,602 1	4,308 5	4,048 3	3,816 2	3,607 7
1,2	3,419 2	3,248 0	3,091 8	2,948 5	2,816 6	2,694 9	2,582 0	2,477 2	2,379 5	2,288 3
1,3	2,202 8	2,122 7	2,047 3	1,976 4	1,909 4	1,846 1	1,786 3	1,729 5	1,675 7	1,624 5
1,4	1,575 8	1,529 5	1,485 2	1,443 1	1,402 8	1,364 2	1,327 4	1,292 0	1,258 2	1,225 7
1,5	1,194 5	1,164 6	1,135 8	1,108 1	1,081 4	1,055 7	1,031 0	1,007 1	0,984 1	0,961 9
1,6	0,940 5	0,919 7	0,899 7	0,880 3	0,861 8	0,843 4	0,825 9	0,808 9	0,792 4	0,776 4
1,7	0,760 9	0,745 9	0,731 3	0,717 1	0,703 4	0,690 0	0,677 0	0,664 4	0,652 1	0,640 2
1,8	0,628 6	0,617 3	0,606 3	0,595 6	0,585 2	0,575 0	0,565 2	0,555 5	0,546 1	0,537 0
1,9	0,528 0	0,519 3	0,510 8	0,502 5	0,494 4	0,486 5	0,478 8	0,471 2	0,463 9	0,456 7
2,0	0,449 6	0,442 8	0,436 0	0,429 5	0,423 0	0,416 8	0,410 6	0,404 6	0,398 7	0,392 9
2,1	0,387 3	0,381 8	0,376 4	0,371 1	0,365 9	0,360 8	0,355 8	0,351 0	0,346 2	0,341 5
2,2	0,336 9	0,332 4	0,328 0	0,323 7	0,319 4	0,315 2	0,311 2	0,307 2	0,303 2	0,299 4
2,3	0,295 6	0,291 9	0,288 2	0,284 6	0,281 1	0,277 6	0,274 2	0,270 9	0,267 6	0,264 4
2,4	0,261 3	0,258 2	0,255 1	0,252 1	0,249 1	0,246 2	0,243 4	0,240 6	0,237 8	0,235 1
2,5	0,232 5	0,229 8	0,227 3	0,224 7	0,222 2	0,219 8	0,217 4	0,215 0	0,212 6	0,210 3
2,6	0,208 1	0,205 8	0,203 6	0,201 5	0,199 3	0,197 2	0,195 2	0,193 1	0,191 1	0,189 2
2,7	0,187 2	0,185 3	0,183 4	0,181 6	0,179 7	0,177 9	0,176 1	0,174 4	0,172 7	0,171 0
2,8	0,169 3	0,167 6	0,166 0	0,164 4	0,162 8	0,161 2	0,159 7	0,158 2	0,156 7	0,155 2
2,9	0,153 7	0,152 3	0,150 9	0,149 5	0,148 1	0,146 7	0,145 4	0,144 1	0,142 7	0,141 4
3,0	0,140 2	0,138 9	0,137 7	0,136 4	0,135 2	0,134 0	0,132 9	0,131 7	0,130 5	0,129 4
3,1	0,128 3	0,127 2	0,126 1	0,125 0	0,123 9	0,122 9	0,121 8	0,120 8	0,119 8	0,118 8
3,2	0,117 8	0,116 8	0,115 8	0,114 9	0,113 9	0,113 0	0,112 1	0,111 2	0,110 3	0,109 4
3,3	0,108 5	0,107 6	0,106 8	0,105 9	0,105 1	0,104 3	0,103 4	0,102 6	0,101 8	0,101 0
3,4	0,100 2	0,099 5	0,098 7	0,097 9	0,097 2	0,096 4	0,095 7	0,095 0	0,094 3	0,093 6
3,5	0,092 8	0,092 2	0,091 5	0,090 8	0,090 1	0,089 5	0,088 8	0,088 1	0,087 5	0,086 9
3,6	0,086 2	0,085 6	0,085 0	0,084 4	0,083 8	0,083 2	0,082 6	0,082 0	0,081 4	0,080 8
3,7	0,080 3	0,079 7	0,079 1	0,078 6	0,078 0	0,077 5	0,077 0	0,076 4	0,075 9	0,075 4
3,8	0,074 9	0,074 4	0,073 9	0,073 4	0,072 9	0,072 4	0,071 9	0,071 4	0,070 9	0,070 5
3,9	0,070 0	0,069 5	0,069 1	0,068 6	0,068 2	0,067 7	0,067 3	0,066 9	0,066 4	0,066 0
4,0	0,065 6	0,065 2	0,064 7	0,064 3	0,063 9	0,063 5	0,063 1	0,062 7	0,062 3	0,061 9
4,1	0,061 5	0,061 2	0,060 8	0,060 4	0,060 0	0,059 7	0,059 3	0,058 9	0,058 6	0,058 2
4,2	0,057 9	0,057 5	0,057 2	0,056 8	0,056 5	0,056 1	0,055 8	0,055 5	0,055 1	0,054 8
4,3	0,054 5	0,054 2	0,053 8	0,053 5	0,053 2	0,052 9	0,052 6	0,052 3	0,052 0	0,051 7
4,4	0,051 4	0,051 1	0,050 8	0,050 5	0,050 2	0,049 9	0,049 6	0,049 4	0,049 1	0,048 8
4,5	0,048 5	0,048 2	0,048 0	0,047 7	0,047 5	0,047 2	0,046 9	0,046 7	0,046 4	0,046 2
4,6	0,045 9	0,045 6	0,045 4	0,045 2	0,044 9	0,044 7	0,044 4	0,044 2	0,043 9	0,043 7
4,7	0,043 5	0,043 2	0,043 0	0,042 8	0,042 5	0,042 3	0,042 1	0,041 9	0,041 7	0,041 4
4,8	0,041 2	0,041 0	0,040 8	0,040 6	0,040 4	0,040 2	0,040 0	0,039 8	0,039 6	0,039 3
4,9	0,039 1	0,038 9	0,038 7	0,038 6	0,038 4	0,038 2	0,038 0	0,037 8	0,037 6	0,037 4
5,0	0,037 2	0,037 0	0,036 8	0,036 7	0,036 5	0,036 3	0,036 1	0,035 9	0,035 8	0,035 6
5,1	0,035 4	0,035 2	0,035 1	0,034 9	0,034 7	0,034 6	0,034 4	0,034 2	0,034 1	0,033 9
5,2	0,033 7	0,033 6	0,033 4	0,033 3	0,033 1	0,032 9	0,032 8	0,032 6	0,032 5	0,032 3
5,3	0,032 2	0,032 0	0,031 9	0,031 7	0,031 6	0,031 4	0,031 3	0,031 1	0,031 0	0,030 9
5,4	0,030 7	0,030 6	0,030 4	0,030 3	0,030 2	0,030 0	0,029 9	0,029 7	0,029 6	0,029 5
5,5	0,029 3	0,029 2	0,029 1	0,029 0	0,028 8	0,028 7	0,028 6	0,028 4	0,028 3	0,028 2
5,6	0,028 1	0,027 9	0,027 8	0,027 7	0,027 6	0,027 5	0,027 3	0,027 2	0,027 1	0,027 0
5,7	0,026 9	0,026 8	0,026 6	0,026 5	0,026 4	0,026 3	0,026 2	0,026 1	0,026 0	0,025 8
5,8	0,025 7	0,025 6	0,025 5	0,025 4	0,025 3	0,025 2	0,025 1	0,025 0	0,024 9	0,024 8
5,9	0,024 7	0,024 6	0,024 5	0,024 4	0,024 3	0,024 2	0,024 1	0,024 0	0,023 9	0,023 8
6,0	0,023 7									

NOTES

1) Table 2 has been made up of statements in the literature (see annex B, [1], [2] and [3]).

2) The expressions $\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$ and $-Ei\left(\frac{-r^2}{4at}\right)$ are quoted in the literature as $\frac{-Ei\left(-\frac{r^2}{2t}\right)}{-Ei(-x)}$ and $-Ei(-x)$ respectively.

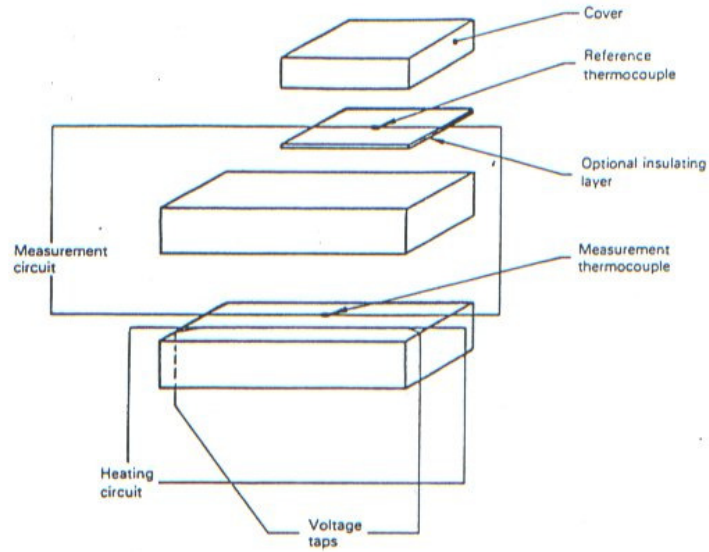


Figure 1 — Diagram showing location of heating circuit and measurement circuit (differential thermocouple circuit)

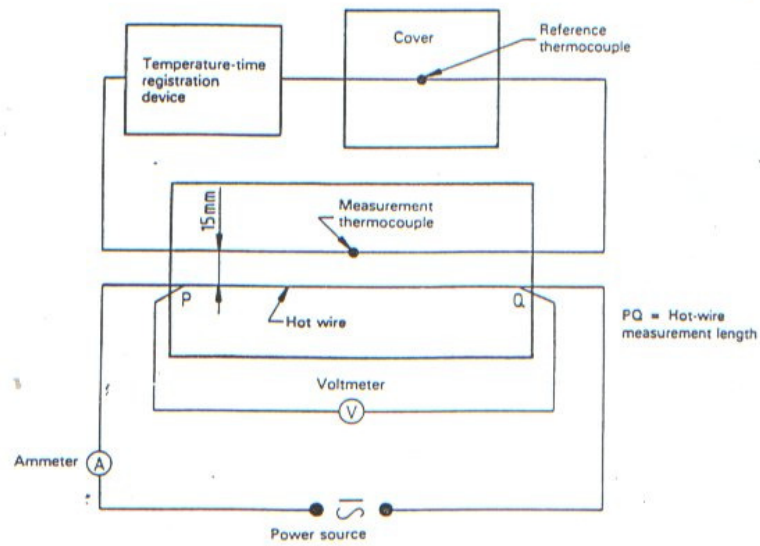


Figure 2 — Diagram showing measurement arrangement

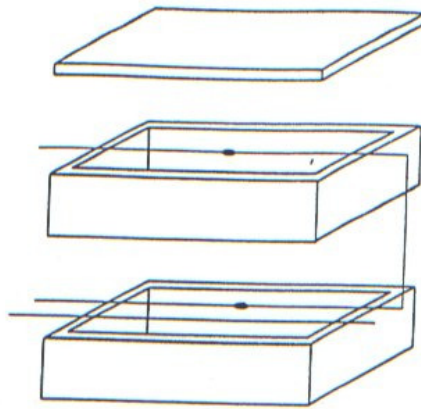


Figure 3 — Container with hot wire and thermocouple laid on it

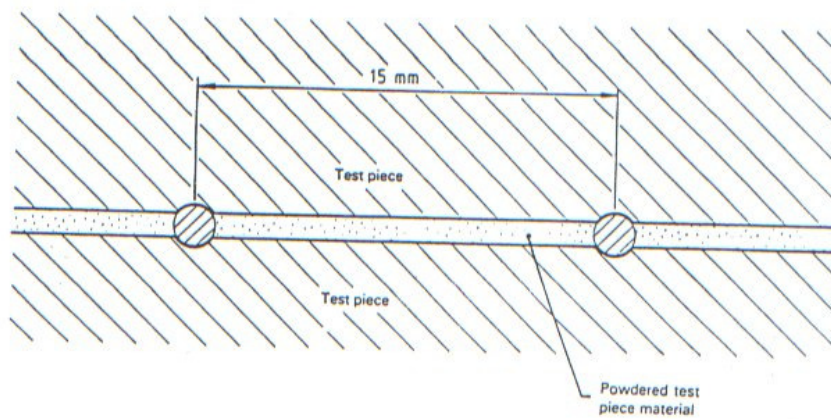


Figure 4 — Symmetrical embedding of hot wire and thermocouple in test pieces (where required)

Annex A (informative)

Example of the determination of thermal conductivity

Table A.1 — Example of an evaluation of the measurements for the determination of the thermal conductivity by the parallel hot-wire method

Time, t s	$\Delta\theta(t)$		$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$-Ei\left(\frac{-r^2}{4at}\right)$	Thermal conductivity, λ W/(m·K)	λ mean W/(m·K)
	μV	K				
6	0,55	0,054	4,46	0,049 6	13,2	15,5
12	2,47	0,241	2,46	0,243 4	14,5	
18	4,45	0,434	1,96	0,478 8	15,8	
24	6,08	0,593	1,78	0,652 1	15,7	
30	7,47	0,729	1,69	0,776 4	15,3	
36	8,72	0,851	1,61	0,919 7	15,5	
48	10,82	1,056	1,52	1,135 8	15,4	
60	12,60	1,229	1,46	1,327 4	15,5	
72	14,05	1,371				
96	16,47	1,607				
120	18,40	1,795				

$$\frac{V \cdot l}{4\pi l} = 14,32 \text{ W/m}$$

In column 2 of table A.1, the differential thermocouple emf, in microvolts, is given at the various times t .

In column 3 of table A.1, this emf is converted to kelvins (K).

It is essential that the correct thermo-emf is used in the conversion of temperature. Thermo-emf values for a range of thermocouple types can be obtained from US National Bureau of Standards Monograph 125.

In column 4 of table A.1, the expression $\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$ is stated.

This expression is calculated by dividing the temperature difference after a period $2t$ by the temperature difference after a period t .

This expression can be calculated from the data measured (see column 2 of table A.1).

EXAMPLES

$$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)} = \frac{\Delta\theta(60)}{\Delta\theta(30)} = \frac{1,229 \text{ K}}{0,729 \text{ K}} = 1,69$$

$$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)} = \frac{\Delta\theta(96)}{\Delta\theta(48)} = \frac{1,607 \text{ K}}{1,056 \text{ K}} = 1,52$$

The $-Ei\left(\frac{-r^2}{4at}\right)$ values associated with the individual $\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$ values are taken from table 2, interpolated where necessary, and entered in column 5 of table A.1.

By substituting the expressions $-Ei\left(\frac{-r^2}{4at}\right)$, $\Delta\theta(t)$, power input and length of the hot wire in the equation in clause 8, λ is calculated and entered in column 6 of table A.1.

The time from which λ becomes almost constant depends on the material.

The actual value of λ for the test is the mean value of the accurate values in column 6 of table A.1.

The mean value of two tests at any one temperature shall be reported. The individual value of λ as determined in each test shall not deviate by more than 5 % from their mean value.

Annex B
(informative)

Bibliography

- [1] CARLSLAW, A.S., and JAEGER, I.C., *Conduction of heat in solids*, 2nd ed., 1959, Clarendon Press, Oxford.
- [2] *Handbook of mathematical tables*, edited by Abramowitz, M., and Stegun, I.A., 1972, New York, AMS 55.
- [3] GROSSKOPF, B. and KILIAN, B., *Table book with $Ei(-x)$ and $\frac{\Delta V(2l)}{\Delta V(l)}$ values*, 1980, Kübel-Druck, Wiesbaden, FRG.