

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL



UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

**DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA E
DA RESISTÊNCIA MECÂNICA EM
ARGAMASSA LEVE**

Autor: Augusto Cesare Stancato

Campinas - SP - Brasil

Fevereiro – 2000

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA E
DA RESISTÊNCIA MECÂNICA EM
ARGAMASSA LEVE

Autor: Augusto Cesare Stancato

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Antonio Paulon

Dissertação de mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração em Edificações.

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação.

25/08/00

Prof. Dr. *V. Paulon*

Matrícula: 04848-8

Campinas - SP - Brasil

Fevereiro - 2000

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

8156100000

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	T/UNICAMP
	St24d
V.	
TOMBO BC/	43322
PROC.	278/2000
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREC.º	R\$ 11,00
DATA	30/12/2009
N.º CPD	

UNICAMP
 BIBLIOTECA CENTRAL
 SEÇÃO CIRCULANTE

CM-00153328-0

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

St24d Stancato, Augusto Cesare
 Determinação da condutividade térmica e da
 resistência mecânica em argamassa leve / Augusto
 Cesare Stancato.--Campinas, SP: [s.n.], 2000.

 Orientador: Vladimir Antonio Paulon.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

 1. Calor - Condução. 2. Normalização. 3. Argamassa. 4. Agregados (Materiais de construção). 5. Resistência de materiais. 6. Absorção. I. Paulon, Vladimir Antonio. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

**DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA E
DA RESISTÊNCIA MECÂNICA EM
ARGAMASSA LEVE**

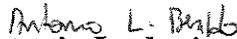
Autor: Augusto Cesare Stancato

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Dissertação de mestrado aprovada pela banca examinadora constituída por:



**Prof. Dr. Vladimir Antônio Paulon
Presidente e Orientador - Unicamp**



**Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo
FEAGRI - UNICAMP**



**Prof. Dr. Mauro Augusto Demarzo
FEC - UNICAMP**

Campinas - SP - Brasil

Fevereiro - 2000

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

À todas as pessoas de boa fé, pacientes, que sacrificam suas vidas por um ideal maior "O bem estar de todo ser humano". E acima de tudo, amam a Deus e ao seu próximo, sem esperar nada em troca.

Aos meus pais, por estarem sempre ao meu lado, com amor, dedicação sem fim e a quem tudo devo nesta vida.

À minha família pelo apoio, à Cris pela amizade e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Vladimir Antonio Paulon, pela orientação e efetivo auxílio prestado para realização deste trabalho, por sua boa vontade e, acima de tudo, pela sua grande amizade. Tive a oportunidade de contar com sua valorosa ajuda, no momento certo.

Ao Dr. Giulio Cesare Stancato, meu irmão e grande amigo, agradeço pelos seus valiosos conselhos, que resultaram em grande colaboração para este trabalho e para o meu crescimento como pesquisador.

Ao Prof. Ludovico Antonio Beraldo, pelo seu apoio, incentivo, simplicidade e sincero auxílio em várias oportunidades.

À Prof^ª. Lucila Chebel Labaki, pela ajuda e pelo incentivo ao meu trabalho, sempre com boa vontade e disposição para atender as minhas dúvidas e anseios.

Ao Prof. Saulo Güths e ao Eng.^o Rodrigo Hoffmann Domingos, pela incomensurável ajuda, disposição, amizade e, principalmente, por me fazerem acreditar que as pessoas podem ser sempre solidárias. Foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Ao amigo e companheiro Danniell de Jesus Cestari, agradeço pela grande colaboração nos trabalhos realizados no laboratório, pela sua experiência e praticidade.

Aos amigos Eng.^o Paulo Augusto Carvalho de Noronha e mestre Ermelindo Anastácio, responsáveis pela confecção das fôrmas para o ensaio de condutividade térmica, pelo amizade e apoio técnico.

À Dr^a. Silmara das Neves, pela colaboração em muitas consultorias, pela sua amizade e por continuar a ser minha irmã espiritual de sempre.

Ao Prof. Luiz Alfredo Cotini Grandi, pelo auxílio e contribuição, através da oportuna utilização do material de pesquisa e parte de sua metodologia de caracterização do material.

Aos técnicos do Laboratório de Solos e do LEMC da Unicamp, pela ajuda sempre bem humorada e desinteressada, contribuindo efetivamente para este trabalho.

Aos alunos da pós-graduação, pela torcida e inesquecível amizade.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

“Não se pode ensinar alguma coisa a alguém, pode-se apenas auxiliar a descobrir por si mesmo”

Galileu Galilei

“A satisfação está no esforço e não apenas na realização final”

Ghandi

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	XII
LISTA DE FIGURAS	XV
LISTA DE SÍMBOLOS	XXIII
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XXVI
RESUMO	XXVII
ABSTRACT	XXVIII
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Argamassas inorgânicas	4
2.1.1 Considerações da argamassa no estado fresco	7
2.1.2 Considerações da argamassa no estado endurecido	8
2.1.3 Argamassa leve com agregado vegetal	9
2.2 Cimento	10
2.3 Compósitos	11
2.3.1 Compósitos cimentícios à base de partículas vegetais	13
2.3.2 Aplicações e vantagens	19
2.4 Aspectos morfológicos do compósito	22
2.5 Conceitos de transmissão de calor por condução	23

2.6 Métodos experimentais de determinação da condutividade térmica em materiais porosos e isolantes	25
2.6.1 Introdução	26
2.6.2 Método Flash	30
2.6.3 Método da Sonda Térmica	31
2.6.4 Método da Placa Quente Protegida	32
2.6.5 Método Fluximétrico	34
2.6.6 Método do Fio Quente Paralelo	36
2.6.7 Método do Fio Quente	36
3. OBJETIVOS	40
4. MATERIAIS E MÉTODOS	41
4.1 Caracterização física dos materiais	41
4.1.1 Tipo de cimento utilizado para a formação das argamassas	42
4.1.2 Composição, obtenção e caracterização física do agregado vegetal	42
4.1.2.1 Análise granulométrica e tratamento do pó de serra para a obtenção do agregado vegetal	43
4.1.2.2 Classificação granulométrica do agregado vegetal	44
4.1.2.3 Determinação do teor de umidade do agregado vegetal	44
4.1.2.4 Determinação da massa unitária do agregado no estado seco e solto.....	46
4.1.2.5 Determinação da massa unitária do agregado no estado seco e compactado	47
4.1.2.6 Ensaio de inchamento /expansão do agregado	48
4.1.2.7 Determinação da massa específica do agregado por meio do Frasco de Chapman	49
4.1.2.8 Determinação da massa específica dos grãos do agregado vegetal	50
4.2 Composição e obtenção dos corpos-de-prova (amostras)	51
4.2.1 Escolha dos traços: argamassa com agregado vegetal e convencional	51
4.3 Ensaio de caracterização da argamassa leve com agregado vegetal e convencional	53
4.3.1 Ensaio de resistência à compressão simples	54
4.3.2 Ensaio de resistência à tração na compressão diametral	55
4.3.3 Determinação da absorção de água por capilaridade	56
4.3.4 Determinação da condutividade térmica pelo Método Fluximétrico	59

5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	68
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS	120
6.1 Análise dos ensaios de caracterização do agregado vegetal	120
6.2 Avaliação da resistência mecânica da argamassa leve com agregado vegetal	123
6.3 Análise da absorção de água nas argamassas por capilaridade.....	129
6.4 Condutividade térmica da argamassa: método fluximétrico	132
6.5 Correlação entre condutividade térmica x resistência mecânica.....	140
7. DISCUSSÃO E COMENTÁRIOS FINAIS	141
8. CONCLUSÕES	145
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146
ANEXOS	153
ANEXO A - Equipamento e procedimento do ensaio de absorção de água por capilaridade	153
ANEXO B - Forma e moldagem das amostras para os ensaios de condutividade térmica pelo método fluximétrico	154

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	- Tipos de cimentos utilizados, segundo as normas da ABNT	10
Tabela 2.2	- Aglomerantes e suas características mecânicas	12
Tabela 2.3	- Propriedades mecânicas das fibras vegetais em relação ao comprimento da fibra e à fração do volume	15
Tabela 2.4	- Propriedades térmicas da areia e de alguns tipos de madeira	22
Tabela 4.1	- Dimensões do recipiente: massa unitária no estado seco e solto	46
Tabela 4.2	- Dimensões do recipiente: massa unitária no estado seco e compactado	47
Tabela 4.3	- Traços em massa da argamassa leve com agregado vegetal	52
Tabela 5.1	- Composição granulométrica “Ensaio I”	69
Tabela 5.2	- Composição granulométrica “Ensaio II”	70
Tabela 5.3	- Composição granulométrica “Ensaio III”	71
Tabela 5.4	- Massa unitária no estado seco/solto e seco/compactado	72
Tabela 5.5	- Ensaio de inchamento / expansão “Ensaio I”	73
Tabela 5.6	- Ensaio de inchamento / expansão “Ensaio II”	74
Tabela 5.7	- Ensaio de inchamento / expansão “Ensaio III”	75
Tabela 5.8	- Leitura dos ensaios de massa específica – Frasco de Chapman	76
Tabela 5.9	- Ensaio para determinação da massa específica dos grãos	76

Tabela 5.10	- Resistência à compressão da argamassa com agregado vegetal para os traços 1 : 0,4 : X (X=água)	77
Tabela 5.11	- Resistência à compressão da argamassa com agregado vegetal para os traços 1 : 0,6 : X (X=água)	79
Tabela 5.12	- Resistência à tração da argamassa com agregado vegetal para os traços 1 : 0,4 : X (X=água)	81
Tabela 5.13	- Resistência à tração da argamassa com agregado vegetal para os traços 1 : 0,6 : X (X=água)	83
Tabela 5.14	- Massa de água absorvida em argamassa com agregado vegetal no intervalo de 24 horas - cimento CPV-ARI	85
Tabela 5.15	- Raiz quadrada do tempo x absorção em argamassa com agregado vegetal - CPV-ARI	85
Tabela 5.16	- Massa de água absorvida em argamassa com agregado vegetal no intervalo de 24 horas - cimento CPII-E 32	87
Tabela 5.17	- Raiz quadrada do tempo x absorção em argamassa com agregado vegetal - CPII-E 32	87
Tabela 5.18	- Massa de água absorvida em argamassa convencional no intervalo de 24 horas - cimento CPII-E 32	89
Tabela 5.19	- Raiz quadrada do tempo x absorção - argamassa convencional cimento CPII-E 32	90
Tabela 5.20	- Condutividade térmica - argamassa com agregado vegetal (1 : 0,4 : X)	92
Tabela 5.21	- Condutividade x tempo 1: 0,4: 0,84 CPV-ARI	94
Tabela 5.22	- Condutividade x tempo 1: 0,4: 0,91 CPV-ARI	95
Tabela 5.23	- Condutividade x tempo 1: 0,4: 1,00 CPV-ARI	96
Tabela 5.24	- Condutividade x tempo 1: 0,4: 1,10 CPV-ARI	97
Tabela 5.25	- Condutividade x tempo 1: 0,4: 1,18 CPV-ARI	98
Tabela 5.26	- Condutividade x tempo 1: 0,4: 1,36 CPV-ARI	99

Tabela 5.27	- Condutividade x tempo 1: 0,4: 0,84 CPII-E 32	100
Tabela 5.28	- Condutividade x tempo 1: 0,4: 1,00 CPII-E 32	101
Tabela 5.29	- Condutividade x tempo 1: 0,4: 1,18 CPII-E 32	102
Tabela 5.30	- Condutividade x tempo 1: 0,4: 1,36 CPII-E 32	103
Tabela 5.31	- Condutividade térmica - argamassa com agregado vegetal (1 : 0,6 : X)	104
Tabela 5.32	- Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,28 CPV-ARI	106
Tabela 5.33	- Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,31 CPV-ARI	107
Tabela 5.34	- Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,35 CPV-ARI	108
Tabela 5.35	- Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,38 CPV-ARI	109
Tabela 5.36	- Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,42 CPV-ARI	110
Tabela 5.37	- Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,50 CPV-ARI	111
Tabela 5.38	- Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,28 CPII-E 32	112
Tabela 5.39	- Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,35 CPII-E 32	113
Tabela 5.40	- Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,42 CPII-E 32	114
Tabela 5.41	- Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,50 CPII-E 32	115
Tabela 5.42	- Condutividade térmica em Argamassa convencional	116
Tabela 5.43	- Condutividade x tempo 1: 3 : 0,80 CPII-E 32	117
Tabela 5.44	- Condutividade x tempo 1: 3 : 0,62 CPII-E 32	118
Tabela 5.45	- Condutividade x tempo 1: 3 : 0,63 CPII-E 32	119
Tabela 6.1	- Valores de massa específica aparente (γ) e condutividade térmica (λ) de materiais utilizados na construção civil	139

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	- Representação gráfica do fluxo de calor	24
Figura 2.2	- Variação da condutividade térmica em função da massa específica aparente dos materiais de construção	29
Figura 2.3	- Representação esquemática de uma típica sonda térmica	31
Figura 2.4	- Esquema do equipamento da Placa Quente Protegida	32
Figura 2.5	- Esquemas possíveis de configurações do método Fluximétrico	35
Figura 2.6	- Esquema de Montagem do equipamento do Fio Quente	39
Figura 4.1	- Amostra do agregado vegetal (<i>pinus sp</i>)	43
Figura 4.2	- Secador Infravermelho IRP-150	45
Figura 4.3	- Esquema da solicitação de carga axial no corpo-de-prova	54
Figura 4.4	- Disposição do corpo-de-prova no ensaio de tração	55
Figura 4.5	- Distribuição dos poros no concreto (CEB)	56
Figura 4.6	- Representação gráfica do ensaio de absorção de água por capilaridade	57
Figura 4.7	- Esquema do ensaio de absorção de água por capilaridade	58
Figura 4.8	- Dispositivo do método Fluximétrico (2 fluxímetros e 1 amostra)	60
Figura 4.9	- Medição da condutividade térmica ao longo do ensaio calculada pelos fluxos superiores, inferiores e através da respectiva média	60
Figura 4.10	- Esquema geral do dispositivo experimental – Método Fluximétrico	62

Figura 4.11	- Detalhe esquemático de um fluxímetro	63
Figura 4.12	- Esquema em planta do fluxímetro - Área de leitura	64
Figura 4.13	- Esquema em elevação do dispositivo de leitura de sinais dos fluxímetros e do termopar	64
Figura 5.1	- Quantidade retida em massa por peneira – Ensaio I	69
Figura 5.2	- Granulometria do agregado vegetal - Ensaio I	69
Figura 5.3	- Quantidade retida em massa por peneira – Ensaio II	70
Figura 5.4	- Granulometria do agregado vegetal - Ensaio II	70
Figura 5.5	- Quantidade retida em massa por peneira – Ensaio III	71
Figura 5.6	- Granulometria do agregado vegetal - Ensaio III	71
Figura 5.7	- Inchamento/Expansão em função do incremento de água “Ensaio I”	73
Figura 5.8	- Inchamento/Expansão em função do incremento de água “Ensaio II”	74
Figura 5.9	- Inchamento/Expansão em função do incremento de água “Ensaio III”	75
Figura 5.10	- Resistência à compressão x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,4 : X CPV-ARI	78
Figura 5.11	- Resistência à compressão x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,4 : X CPE-E 32	78
Figura 5.12	- Resistência à compressão x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,6 : X CPV-ARI	80
Figura 5.13	- Resistência à compressão x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,6 : X CPE-E 32	80
Figura 5.14	- Resistência à tração x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,4 : X CPV-ARI	82
Figura 5.15	- Resistência à tração x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,4 : X CPE-E 32	82
Figura 5.16	- Resistência à tração x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,6 : X CPV-ARI	84

Figura 5.17	- Resistência à tração x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,6 : X CII-E 32	84
Figura 5.18	- Massa de água absorvida x raiz quadrada do tempo da argamassa leve com agregado vegetal traços <u>1:0,4:0,84</u> e <u>1:0,4:1,36</u> - CPV-ARI	86
Figura 5.19	- Massa de água absorvida x raiz quadrada do tempo da argamassa leve com agregado vegetal traços <u>1:0,6:1,28</u> e <u>1:0,6:1,50</u> - CPV-ARI	86
Figura 5.20	- Massa de água absorvida x raiz quadrada do tempo da argamassa leve com agregado vegetal traços <u>1:0,4:0,84</u> e <u>1:0,4:1,36</u> - CII-E 32	88
Figura 5.21	- Massa de água absorvida x raiz quadrada do tempo da argamassa leve com agregado vegetal traços <u>1:0,6:1,28</u> e <u>1:0,6:1,50</u> - CII-E 32	88
Figura 5.22	- Massa de água absorvida por absorção capilar em argamassa convencional : utilização de três tipos de areia	90
Figura 5.23	- Altura de penetração de água por absorção capilar em argamassa leve com agregado vegetal: CPV-ARI e CII-E 32	91
Figura 5.24	- Altura de penetração de água por absorção capilar em argamassa convencional com três tipos de areia: CII-E 32	91
Figura 5.25	- Condutividade térmica x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1:0,4:X CPV-ARI	93
Figura 5.26	- Condutividade térmica x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1:0,4:X CII-E 32	93
Figura 5.27 a	- Condutividade x tempo - Cp1 1:0,4:0,84 CPV-ARI	94
Figura 5.27 b	- Condutividade x tempo - Cp2 1:0,4:0,84 CPV-ARI	94
Figura 5.27 c	- Condutividade x tempo - Cp3 1:0,4:0,84 CPV-ARI	94
Figura 5.28 a	- Condutividade x tempo - Cp1 1:0,4:0,91 CPV-ARI	95
Figura 5.28 b	- Condutividade x tempo - Cp2 1:0,4:0,91 CPV-ARI	95
Figura 5.28 c	- Condutividade x tempo - Cp3 1:0,4:0,91 CPV-ARI	95
Figura 5.29 a	- Condutividade x tempo - Cp1 1:0,4:1,00 CPV-ARI	96
Figura 5.29 b	- Condutividade x tempo - Cp2 1:0,4:1,00 CPV-ARI	96

Figura 5.29 c	- Condutividade x tempo - Cp3	1:0,4:1,00	CPV-ARI	.....	96
Figura 5.30 a	- Condutividade x tempo - Cp1	1:0,4:1,10	CPV-ARI	.....	97
Figura 5.30 b	- Condutividade x tempo - Cp2	1:0,4:1,10	CPV-ARI	.....	97
Figura 5.30 c	- Condutividade x tempo - Cp3	1:0,4:1,10	CPV-ARI	.....	97
Figura 5.31 a	- Condutividade x tempo - Cp1	1:0,4:1,18	CPV-ARI	.....	98
Figura 5.31 b	- Condutividade x tempo - Cp2	1:0,4:1,18	CPV-ARI	.....	98
Figura 5.31 c	- Condutividade x tempo - Cp3	1:0,4:1,18	CPV-ARI	.....	98
Figura 5.32 a	- Condutividade x tempo - Cp1	1:0,4:1,36	CPV-ARI	.....	99
Figura 5.32 b	- Condutividade x tempo - Cp2	1:0,4:1,36	CPV-ARI	.....	99
Figura 5.32 c	- Condutividade x tempo - Cp3	1:0,4:1,36	CPV-ARI	.....	99
Figura 5.33 a	- Condutividade x tempo - Cp1	1:0,4:0,84	CPII-E 32	.....	100
Figura 5.33 b	- Condutividade x tempo - Cp2	1:0,4:0,84	CPII-E 32	.....	100
Figura 5.33 c	- Condutividade x tempo - Cp3	1:0,4:0,84	CPII-E 32	.....	100
Figura 5.34 a	- Condutividade x tempo - Cp1	1:0,4:1,00	CPII-E 32	.....	101
Figura 5.34 b	- Condutividade x tempo - Cp2	1:0,4:1,00	CPII-E 32	.....	101
Figura 5.34 c	- Condutividade x tempo - Cp3	1:0,4:1,00	CPII-E 32	.....	101
Figura 5.35 a	- Condutividade x tempo - Cp1	1:0,4:1,18	CPII-E 32	.....	102
Figura 5.35 b	- Condutividade x tempo - Cp2	1:0,4:1,18	CPII-E 32	.....	102
Figura 5.35 c	- Condutividade x tempo - Cp3	1:0,4:1,18	CPII-E 32	.....	102
Figura 5.36 a	- Condutividade x tempo - Cp1	1:0,4:1,36	CPII-E 32	.....	103
Figura 5.36 b	- Condutividade x tempo - Cp2	1:0,4:1,36	CPII-E 32	.....	103
Figura 5.36 c	- Condutividade x tempo - Cp3	1:0,4:1,36	CPII-E 32	.....	103

Figura 5.37	- Condutividade térmica x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,6 : X CPV-ARI	105
Figura 5.38	- Condutividade térmica x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,6 : X CPII-E 32	105
Figura 5.39 a	- Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,28 CPV-ARI	106
Figura 5.39 b	- Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,28 CPV-ARI	106
Figura 5.39 c	- Condutividade x tempo - Cp3 1:0,6:1,28 CPV-ARI	106
Figura 5.40 a	- Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,31 CPV-ARI	107
Figura 5.40 b	- Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,31 CPV-ARI	107
Figura 5.40 c	- Condutividade x tempo - Cp3 1:0,6:1,31 CPV-ARI	107
Figura 5.41 a	- Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,35 CPV-ARI	108
Figura 5.41 b	- Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,35 CPV-ARI	108
Figura 5.41 c	- Condutividade x tempo - Cp3 1:0,6:1,35 CPV-ARI	108
Figura 5.42 a	- Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,38 CPV-ARI	109
Figura 5.42 b	- Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,38 CPV-ARI	109
Figura 5.42 c	- Condutividade x tempo - Cp3 1:0,6:1,38 CPV-ARI	109
Figura 5.43 a	- Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,42 CPV-ARI	110
Figura 5.43 b	- Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,42 CPV-ARI	110
Figura 5.43 c	- Condutividade x tempo - Cp3 1:0,6:1,42 CPV-ARI	110
Figura 5.44 a	- Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,50 CPV-ARI	111
Figura 5.44 b	- Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,50 CPV-ARI	111
Figura 5.44 c	- Condutividade x tempo - Cp3 1:0,6:1,50 CPV-ARI	111
Figura 5.45 a	- Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,28 CPII-E 32	112
Figura 5.45 b	- Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,28 CPII-E 32	112

Figura 5.45 c	- Condutividade x tempo - Cp3	1:0,6:1,28	CPII-E 32	.....	112
Figura 5.46 a	- Condutividade x tempo - Cp1	1:0,6:1,35	CPII-E 32	.....	113
Figura 5.46 b	- Condutividade x tempo - Cp2	1:0,6:1,35	CPII-E 32	.....	113
Figura 5.46 c	- Condutividade x tempo - Cp3	1:0,6:1,35	CPII-E 32	.....	113
Figura 5.47 a	- Condutividade x tempo - Cp1	1:0,6:1,42	CPII-E 32	.....	114
Figura 5.47 b	- Condutividade x tempo - Cp2	1:0,6:1,42	CPII-E 32	.....	114
Figura 5.47 c	- Condutividade x tempo - Cp3	1:0,6:1,42	CPII-E 32	.....	114
Figura 5.48 a	- Condutividade x tempo - Cp1	1:0,6:1,50	CPII-E 32	.....	115
Figura 5.48 b	- Condutividade x tempo - Cp2	1:0,6:1,50	CPII-E 32	.....	115
Figura 5.48 c	- Condutividade x tempo - Cp3	1:0,6:1,50	CPII-E 32	.....	115
Figura 5.49 a	- Condutividade x tempo - Cp1	1: 3 : 0,80	CPII-E 32	.....	117
Figura 5.49 b	- Condutividade x tempo - Cp2	1: 3 : 0,80	CPII-E 32	.....	117
Figura 5.49 c	- Condutividade x tempo - Cp3	1: 3 : 0,80	CPII-E 32	.....	117
Figura 5.50 a	- Condutividade x tempo - Cp1	1: 3 : 0,62	CPII-E 32	.....	118
Figura 5.50 b	- Condutividade x tempo - Cp2	1: 3 : 0,62	CPII-E 32	.....	118
Figura 5.50 c	- Condutividade x tempo - Cp3	1: 3 : 0,62	CPII-E 32	.....	118
Figura 5.51 a	- Condutividade x tempo - Cp1	1: 3 : 0,63	CPII-E 32	.....	119
Figura 5.51 b	- Condutividade x tempo - Cp2	1: 3 : 0,63	CPII-E 32	.....	119
Figura 5.51 c	- Condutividade x tempo - Cp3	1: 3 : 0,63	CPII-E 32	.....	119
Figura 6.1	- Otimização teórica para a granulometria do agregado vegetal			.....	121
Figura 6.2	- Seqüência da expansão do agregado vegetal no ensaio de inchamento /expansão			.....	122

Figura 6.3	- Variação da resistência à compressão com a relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal: utilização de dois tipos de traços <u>1:0,4:X</u> e <u>1:0,6:X</u>	124
Figura 6.4	- Variação da resistência à tração com a relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal: utilização de dois tipos de traços <u>1:0,4:X</u> e <u>1:0,6:X</u>	124
Figura 6.5	- Comparação dos valores de resistência à compressão da argamassa mista e dos valores de alguns traços da argamassa leve com agregado vegetal: <u>1:0,4:0,84</u> - <u>1:0,4:1,00</u> - <u>1:0,6:1,28</u> (CPV-ARI e CPII-E 32)	127
Figura 6.6	- Comparação entre os valores de resistência à tração da argamassa mista e dos valores de alguns traços da argamassa leve com agregado vegetal: <u>1:0,4:0,84</u> - <u>1:0,4:1,00</u> - <u>1:0,6:1,28</u> (CPV-ARI e CPII-E 32)	128
Figura 6.7	- Absorção de água por capilaridade da argamassa leve com agregado vegetal: traços do tipo <u>1:0,4:X</u> (CPV-ARI e CPII-E 32)	129
Figura 6.8	- Absorção de água por capilaridade da argamassa leve com agregado vegetal: traços do tipo <u>1:0,6:X</u> (CPV-ARI e CPII-E 32)	129
Figura 6.9	- Altura de penetração de água por absorção capilar para a argamassa leve com agregado vegetal e argamassa convencional	131
Figura 6.10	- Alinhamento dos pontos em relação à abscissa do gráfico, correspondente às leituras para o valor de condutividade térmica	132
Figura 6.11	- Condutividade térmica x massa específica aparente para os traços da argamassa leve com agregado vegetal	134
Figura 6.12	- Variação da condutividade térmica com a relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal: utilização de dois tipos de traços <u>1:0,4:X</u> e <u>1:0,6:X</u>	136
Figura 6.13	- Comparação dos valores da condutividade térmica entre a argamassa leve com agregado vegetal e argamassa convencional (cimento/areia)	138
Figura 6.14	- Correlação entre a condutividade térmica e a resistência à compressão	140
Figura A.1	- Dispositivo para o ensaio de absorção de água por capilaridade, balança de precisão e cronômetro	153

Figura A.2	- Altura de penetração de água do ensaio de absorção para a argamassa convencional composta por três tipos de areia, após 24 horas	153
Figura A.3	- Altura de penetração de água do ensaio de absorção para a argamassa com agregado vegetal: traços 1:0,4:0,84 e 1:0,4:1,36 - CPV-ARI ...	153
Figura A.4	- Altura de penetração de água do ensaio de absorção para a argamassa com agregado vegetal: traços 1:0,4:1,28 e 1:0,4:1,50 - CPV-ARI ...	153
Figura B.1	- Concepção das fôrmas para moldagem das amostras dos ensaios de condutividade térmica	154
Figura B.2	- Moldagem das amostras para os ensaios de condutividade térmica	154
Figura B.3	- Compactação em camadas, através do soquete, das amostras para os ensaios de condutividade térmica	154
Figura B.4	- Amostras recém-moldadas para os ensaios de condutividade térmica a serem colocadas em câmara úmida (cura)	154
Figura B.5	- Amostras para os ensaios de condutividade térmica, moldadas e curadas, após o tempo especificado em função do tipo de cimento. Secas em estufa a 80 °C até constância de massa	154
Figura B.6	- Dispositivo de medição de condutividade térmica com configuração composta de uma amostra e dois fluxímetros	154
Figura B.7	- Ordem dos elementos do dispositivo de medição do método fluximétrico	155
Figura B.8	- Detalhe da ordem dos elementos do dispositivo do método fluximétrico	155
Figura B.9	- Montagem dos elementos do dispositivo de medição no sistema basculante e aplicação de uma pressão de 0,08 kg/cm ²	155
Figura B.10	- Detalhe da montagem dos elementos do dispositivo do método fluximétrico	155
Figura B.11	- Esquema do sistema do método fluximétrico composto pelo dispositivo de medição, fonte, microvoltímetro e reservatório equipado com bomba d'água	155

LISTA DE SÍMBOLOS

- λ - Coeficiente de condutividade térmica [W.m⁻¹ K⁻¹]
- q - Fluxo de calor médio [W.m⁻²]
- ΔT - Diferença de temperatura entre as faces da amostra [K]
- e - Espessura da amostra [m]
- q_d - Potência elétrica dissipada no núcleo da placa quente (W)
- L - Espessura média das amostras [m]
- A - Área efetiva da geração do fluxo de calor (núcleo da placa quente) [m²]
- R - Resistência térmica [m².K.W⁻¹]
- q'' - Densidade de fluxo térmico [W.m⁻²]
- ΔT_F - Aumento de temperatura junto ao fio quente [K]
- q_u - Calor dissipado por unidade de tempo e comprimento, na fonte [W.m⁻¹]
- j - Constante de Euler [0,5772]
- r - Distância radial (distância do ponto ao eixo do fio) [m]
- α - Difusividade térmica do corpo-de-prova [m².s⁻¹]
- t - Tempo [s]
- w_a - Teor de umidade do agregado [%]

γ_{ss}	- Massa unitária no estado seco e solto [g.cm ⁻³]
γ_{sc}	- Massa unitária no estado seco e compactado [g.cm ⁻³]
γ_a	- Massa específica do agregado [kg.dm ⁻³]
γ_s	- Massa específica dos grãos [kg.dm ⁻³]
P_u , P_s	- Massa da amostra de agregado vegetal úmido e seco [%]
MF	- Módulo de finura
f_{ck}	- Resistência à compressão da argamassa com agregado vegetal [MPa]
f_{tk}	- Resistência à tração da argamassa com agregado vegetal [MPa]
$f_{t,D}$	- Resistência à tração por compressão diametral [MPa]
F	- Carga máxima obtida no ensaio de tração na compressão diametral [k.N]
d	- Diâmetro do corpo-de-prova [mm]
ℓ	- Altura do corpo-de-prova [mm]
λ - médio	- Condutividade térmica média [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
λ - TFCsup	- Condutividade térmica do transdutor de fluxo superior [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
λ - TFCinf	- Condutividade térmica do transdutor de fluxo inferior [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
V_1 , V_2 , V_3	- Sinal de tensão elétrica do fluxímetro 1, 2 e do termopar [μ Volts]
T_{qm}	- Temperatura média da placa quente (método fluximétrico) [K]
T_{fm}	- Temperatura média da placa fria (método fluximétrico) [K]
T_i	- Temperatura individual (definição da constante de calibração) [K]
T_{qi} , T_{fi}	- Temperatura individual da face quente e fria [K]
f_i	- Constante de calibração [W.m ⁻² .K ⁻¹ .V ⁻¹]

q''_m	- Densidade de fluxo médio [W.m ⁻²]
T_m	- Temperatura média entre as faces quente e fria [K]
ΔT_m	- Diferença da temperatura média entre as faces quente e fria [K]
V	- Tensão elétrica [μ Volts]
P_1, P_2, P_3	- Massa das amostras de agregado vegetal [kg]
\overline{P}_u	- Massa média das amostras agregado úmido [kg]
\overline{P}_s	- Massa média das amostras agregado seco [kg]
$\gamma_{a \text{ úmido}}$	- Massa específica do agregado vegetal úmido [kg.dm ⁻³]
$\gamma_{a \text{ seco}}$	- Massa específica do agregado vegetal [kg.dm ⁻³]
L_1, L_2	- Leituras do frasco do Chapman [cm ³]
W_1	- Massa da amostra do agregado miúdo [g]
W_2	- Massa do balão volumétrico + álcool [g]
W_d	- Massa do balão volumétrico + álcool + agregado vegetal [g]
$\gamma_{\text{álcool}}$	- Massa específica do álcool [g.cm ⁻³]
f_{ck}	- Resistência à compressão simples [MPa]
$\overline{f_{ck}}$	- Resistência à compressão média [MPa]
f_{tk}	- Resistência à tração simples [MPa]
$\overline{f_{tk}}$	- Resistência à tração média [MPa]

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CP	- Cimento Portland
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	- Norma Brasileira
CEPED	- Centro de Pesquisas do Governo do Estado da Bahia
C _p	- Corpo-de-prova (amostra)
ASTM	- American Society Testing of Materials
BSI	- British Standards Institution
AFNOR	- Association Française de Normalisation
DIN	- Deutsche Normen
LEMC	- Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção - Unicamp
DCC	- Departamento de Construção Civil - Unicamp
CB-02	- Comitê Brasileiro de Construção Civil
CE-02:135.07	- Comissão de Estudos de Desempenho Térmico para Edificações
LMPT	- Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas de Materiais
UFSC	- Universidade Federal de Santa Catarina
C.E.B	- Comité Euro International du Béton
f.e.m.	- Força eletromotriz

RESUMO

STANCATO, A. C. . **Determinação da condutividade térmica e da resistência mecânica em argamassa leve.** Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2000. 155p. Dissertação de Mestrado.

Este trabalho visa a determinação da condutividade térmica e da resistência mecânica em argamassa leve, evidenciando as características termo-isolantes do compósito e análise dos principais aspectos do compósito cimento-agregado vegetal, em relação às suas propriedades mecânicas. O procedimento adotado para a determinação da condutividade térmica, teve como finalidade avaliar o grau de confiabilidade do método de medição proposto, tendo como base os resultados dos ensaios realizados com amostras, cujas características são previamente conhecidas. As misturas foram elaboradas com os cimentos Portland CPPII-E 32 e CPV-ARI 32, traços em massa de agregado vegetal utilizado na forma de agregado miúdo leve, provenientes de partículas de madeira, e água proporcional a cada traço da mistura (1:0,4:0,84 , 1:0,4:1,36 , 1:0,6:1,28 e 1:0,6:1,50). A partir dos ensaios realizados, a argamassa leve apresentou maiores valores de resistência a tração e absorção em massa, menor altura de penetração de água e menores valores de condutividade térmica em relação às argamassas convencionais. Utilizou-se um método simples para determinação da condutividade, de fácil aplicação e baixo custo operacional, contribuindo para a normatização de um método específico para materiais de construção civil.

Palavras Chave: condutividade térmica, normatização, argamassa, agregado vegetal, resistência mecânica, absorção.

ABSTRACT

STANCATO, A. C. . **Determinação da condutividade térmica e da resistência mecânica em argamassa leve.** Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2000. 155p. Dissertação de Mestrado.

This work deals the determination of the thermal conductivity and the mechanical strength in light mortar with soft aggregate, evidencing the features term-insulators of the composite and analysis of the main aspects of the cement composite, concerning to its mechanical characteristics. The procedure adopted for determination of thermal conductivity, has the purpose of evaluate the degree of reliability of the considered method of measurement, having as base the results of the test carried through with samples, whose features previously are known. The mixtures were made with Portland cement (CPII-E 32 and CPV-ARI 32), vegetal aggregate and proportional water to each mixture (1:0.4:0.84 , 1:0.4:1.36 , 1:0.6:1.28 e 1:0.6:1.50). Results of light mortar have shown higher values in tension strength and mass water absorption and smaller penetration water than conventional mortars. A simple method was used for determination of thermal conductivity, being of easy application and with low operational cost, contributing for its standardization as an specific method to be employed in materials civil construction.

Keywords: thermal conductivity, standardization, mortar, vegetal aggregate, mechanical strength, absorption.

1 INTRODUÇÃO

A condutividade térmica em argamassa leve é um importante indicador para avaliação da sua capacidade térmica e de seu emprego no ambiente construído, possibilitando, entre outras vantagens, a economia energética de equipamentos condicionadores de temperatura. Para que um produto seja aceito no mercado, é necessário que tenha propriedades que contribuam efetivamente como elemento construtivo no conjunto que define o conforto térmico das edificações.

Dessa maneira, a determinação da condutividade térmica é uma ferramenta útil, capaz de avaliar a argamassa leve, que por sua vez está relacionada aos materiais porosos, que são caracterizados por serem materiais isolantes, apresentando baixos valores de condutividade. As argamassas leves podem ser utilizadas como um material isolante, face as suas características de baixa condutividade térmica, aliada às propriedades de resistência mecânica, trabalhabilidade e durabilidade, permitem um tempo de vida útil das edificações, compatível com as especificações utilizadas. Os métodos para determinação da condutividade térmica, como o *método do Fio quente*, o *método da Placa Quente Protegida* e o *método Fluximétrico*, são exemplos de ensaios para determinação da condutividade térmica, específicos para os materiais de construção civil e diretamente relacionados aos estudos que contribuem para o conforto térmico ambiental.

O presente trabalho apresenta um estudo sobre a caracterização de uma argamassa composta por um agregado atípico, ou seja, partículas de madeira provenientes da serragem tratada. Este agregado apresenta um comportamento diferenciado em relação ao agregado convencionalmente utilizado em argamassas, no que diz respeito à sua composição e processo de mistura. Muito embora seu processo de estudo esteja baseada na normatização estabelecida pela

ABNT para agregado miúdo quartzoso, foi adaptada e desenvolvida uma metodologia própria, em função das propriedades inerentes das partículas de madeira, como fonte de matéria prima para sua confecção. A mistura do agregado vegetal, juntamente com o cimento e a água, vêm proporcionar uma opção a mais no campo de utilização de compósitos de matrizes frágeis, como é o caso dos compósitos cimentícios e das argamassas leves.

O pó de serra da indústria madeireira é um resíduo indesejável, tendo atualmente como única opção de uso, sua queima ou descarte final. A reciclagem deste material, assim como, outros tipos de resíduos provenientes das indústrias, vêm contribuir para a formação de uma nova matéria prima, possibilitando sua utilização como material de construção civil. Utilizando-se das espécies reflorestáveis, como fonte de matéria prima para a sua produção, contribui também para a preservação dos ecossistemas existentes. Por tratar-se de um material com utilização de tecnologia nova e desenvolvimento recente, possui notável escassez de informações e pouca literatura publicada em relação ao seu estudo e aplicação. Assim, a referência bibliográfica baseou-se nos compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais, com inúmeros trabalhos publicados.

As pesquisas referentes a esses compostos fibrosos podem ser enumeradas e quantificadas através de vários trabalhos publicados pela comunidade científica, servindo como fonte de pesquisa e ponto de partida de estudos referentes a uma nova tecnologia de aplicação no mercado da construção civil.

O cimento Portland representa um importante papel como material aglomerante da mistura, sendo o principal responsável pelas propriedades mecânicas que são conferidas à argamassa vegetal durante e após o período de cura e endurecimento da argamassa. Através de seu notório desenvolvimento ao longo do tempo, vem adquirindo novas tecnologias de fabricação e de utilização, proporcionando materiais mais resistentes e duráveis, como é o caso dos concretos, das argamassas e dos compósitos cimentícios.

A questão da condutividade térmica dos materiais, tem sido motivo de pesquisa em diversos setores da ciência aplicada. Sua determinação está diretamente relacionada ao emprego

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

dos materiais de um modo geral, uma vez que, o valor dos índices determinados experimentalmente sofrem grande variação em função do tipo de material utilizado.

Vários materiais utilizados na construção civil são dotados de grande porosidade e com características próprias dos materiais termo-isolantes, apresentando baixos valores de condutividade. Existem métodos específicos que determinam a condutividade térmica para materiais de baixa condutividade, com a sensibilidade e tecnologia experimental adaptadas às condições de utilização para estes tipos de materiais.

Dos principais métodos existentes para a determinação da condutividade térmica em materiais para construção civil, optou-se pela utilização do método Fluximétrico, em regime estacionário, por ser um método relativamente simples, com baixo custo operacional, de rápida determinação e confiabilidade para os valores de condutividade térmica. Sua utilização contribui para a normatização de um método experimental para a proposta da norma técnica de desempenho térmico de edificações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O assunto dissertado neste capítulo abrange tópicos relacionados às argamassas inorgânicas, aos compósitos cimentícios, às argamassas reforçadas com fibras vegetais e à condutividade térmica dos materiais de construção civil. O conjunto dessas informações, contribuiu para o estudo e desenvolvimento da argamassa leve composta pelo pó de serra tratado (agregado vegetal), como uma das opções existentes para as argamassas leves.

As publicações relacionadas especificamente a esses elementos são merecedoras de maior atenção para a sua melhor compreensão e entendimento, possibilitando uma visão abrangente e esclarecedora sobre o assunto.

2.1 Argamassas inorgânicas

Os estudos das argamassas estão relacionados diretamente à sua utilização e ao tipo de emprego que permite sua aplicação eficiente, proporcionando qualidade, economia e praticidade, especificando os diversos tipos de aglomerantes a serem utilizados na composição de sua mistura. Na construção civil tem-se inúmeros exemplos da sua aplicação como revestimento interno e externo, assentamento para alvenaria, chapisco, enchimento para contrapisos e regularizações, etc. Na elaboração da argamassa é essencial a utilização de um ou mais aglomerantes, podendo as mesmas serem classificadas de acordo com o tipo e a mistura entre os diversos tipos de aglomerantes utilizados, hidráulicos e/ou aéreos.

A definição, segundo a NBR-7200⁶², diz que a argamassa é a mistura de aglomerantes e

agregados com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência. Sua elaboração implica no conhecimento dos materiais constituintes, bem como de suas características e propriedades. Os tipos de aglomerantes comumente utilizados nas argamassas são o cimento Portland, a cal hidratada e o gesso. As argamassas de cal são utilizadas para revestimento (emboço e reboco), pela sua plasticidade e elasticidade, proporcionando melhor acabamento final, tendo também utilização em argamassas para assentamento de alvenaria.

Segundo afirma FIORITO (1994)¹, as argamassas mais utilizadas são compostas de areia natural lavada (agregado quartzoso), tendo como aglomerantes o cimento Portland e a cal hidratada. É desejável que suas propriedades no estado fresco e no estado endurecido tenham características tais que permitam o aprimoramento da sua metodologia de aplicação e do seu desempenho final como produto de revestimento. Segundo RYDER (1963)², as propriedades da argamassa podem ser classificadas quanto a sua forma, em três grupos: no primeiro, estão incluídas todas as propriedades da argamassa em seu estado de consistência plástica; no segundo grupo, estão as propriedades da argamassa endurecida, como por exemplo, a resistência e a elasticidade, avaliadas através de ensaios em corpos-de-prova de argamassas; no terceiro grupo estão as propriedades da argamassa relacionadas aos componentes da base e que não podem ser determinadas independentemente do mesmo.

De acordo com CINCOTTO et al. (1995)³, a análise do significado dessas propriedades conduz à identificação das propriedades que efetivamente caracterizam a argamassa e que irão constituir o conjunto a ser considerado como parâmetro de especificação, produção, aplicação, controle de qualidade e avaliação de desempenho para revestimentos. Suas funções com material de revestimento devem, acima de tudo, satisfazer as condições mínimas exigidas para as edificações, no que diz respeito à segurança, à habitabilidade, à compatibilidade com a base e à compatibilidade entre os materiais.

Além da caracterização e escolha dos diversos tipos de materiais que compõem as argamassas, o conhecimento de suas propriedades é essencial para seu estudo e aprimoramento, tanto no estado fresco como no estado endurecido, e de fundamental importância para a especificação do produto final, pois determina seu desempenho frente às solicitações e às

condições de utilização a que estão sujeitas.

A avaliação e o conhecimento dessas propriedades são determinados através de ensaios específicos e normatizados, que definem o dimensionamento e a metodologia de preparo da argamassa para os diversos tipos de aplicações, dentre os quais podem ser citados:

Argamassa no estado fresco

Plasticidade

Consistência

Capacidade de retenção de água e de retenção de consistência

Massa específica e teor de ar incorporado

Exsudação

Argamassa no estado endurecido

Resistência à compressão

Resistência à tração

Módulo de elasticidade

Retração por secagem

Absorção de água por capilaridade

Permeabilidade à água

Permeabilidade ao vapor de água

Resistência química

Argamassa no estado endurecido aplicada sobre substrato

Resistência de aderência à tração

Resistência de aderência ao cisalhamento

Permeabilidade à água

Resistência de aderência à abrasão

Resistência superficial

Resistência ao impacto

2.1.1 Considerações da argamassa no estado fresco

CINCOTTO et al. (1995)³ definem a consistência como sendo a propriedade da argamassa pela qual esta tende a resistir à deformação, sendo que, a manutenção da consistência diz respeito à capacidade da argamassa manter esta tendência ao longo do tempo de aplicação.

IOSHIMOTO et al. (1988)⁴ descrevem que as argamassas distinguem-se por apresentarem características plásticas e adesivas em função de sua aplicação e por tornarem-se rígidas e resistentes após um período de tempo. Esses fatos determinam suas principais aplicações na construção civil, tais como a moldagem de elementos, aderência, proteção física e mecânica dos componentes.

As argamassas compostas de cimento, como aglomerante, apresentam pouca trabalhabilidade, sendo necessário um acréscimo de água para a melhora desta propriedade, até um certo limite, a partir do qual se torna prejudicial às outras propriedades. Para compensar e reduzir os prejuízos causados pelo acréscimo da água vêm se utilizando a cal hidratada (aglomerante aéreo) na mistura das argamassas, devido a sua elevada finura. A adição da cal melhora a fluidez, a coesão e na retenção de água. Em contrapartida, há uma redução nas resistências finais à compressão, à tração e às altas temperaturas, diminuindo a capacidade de aderência, a durabilidade, a impermeabilidade e a resistência em baixas idades, havendo, igualmente, um aumento da retração na secagem inicial.

A trabalhabilidade, segundo RILEM (1982)⁵, é uma propriedade complexa e de avaliação subjetiva, sendo resultado da conjugação de diversas outras propriedades do material fresco, tais como: plasticidade, consistência, retenção de água, exsudação de água, massa específica, coesão interna, adesão e velocidade de endurecimento. A consistência e a plasticidade são as principais propriedades que determinam a trabalhabilidade.

Conforme RAGO & CINCOTTO (1997)⁶, embora a plasticidade e a consistência sejam propriedades perfeitamente definidas, os métodos de ensaio empregados para a sua determinação não medem, e sim avaliam a trabalhabilidade, não podendo seus resultados serem considerados

como absolutos, mas como valores singulares, apenas comparativos.

Uma das principais características das argamassas no estado fresco é a retração plástica, um fenômeno de ordem dimensional que ocorre nas argamassas nas primeiras idades, é uma questão de retração volumétrica do material pela saída da água de amassamento da mistura. Segundo METHA & MONTEIRO (1991)⁷, parte da retração é reversível; a argamassa endurecida pode movimentar-se no sentido contrário ao da retração quando sujeita, por exemplo, à molhagem .

Em contrapartida, a retenção de água, segundo CINCOTTO et al. (1995)³, é a capacidade da argamassa fresca em manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água. Conforme MARTINELLI (1989)⁸, a especificação do agregado na elaboração da argamassa pode influenciar no índice de retenção de água, cuja redução no módulo de finura do agregado provoca um crescimento do índice de retenção.

2.1.2 Considerações da argamassa no estado endurecido

A capacidade de aderência da argamassa à base é um fenômeno de interface, ou seja, depende da reação entre o material cimentício e o substrato ainda em atividade. Seu mecanismo de aderência está diretamente ligado à ancoragem mecânica da argamassa às imperfeições da superfície da base de revestimento, bem como, pela ancoragem da pasta de aglomerante em seus poros. Segundo SELMO (1989)⁹, esta ancoragem é devido à sucção, pelos poros da base, de parte da água de amassamento da argamassa, que contém os aglomerantes em solução. No interior dos poros ocorre a precipitação dos silicatos e hidróxidos, promovendo um aumento da ancoragem na base, conforme o endurecimento da argamassa.

No estudo das argamassas de revestimento, uma das principais etapas consiste em se conhecer as suas propriedades mecânicas. De acordo com CINCOTTO et al. (1995)³, a resistência mecânica das argamassas diz respeito à capacidade destas argamassas resistirem às tensões de tração, compressão ou cisalhamento, às quais o revestimento pode estar sujeito.

Conforme afirma CESTARI (1997)¹⁰, a resistência mecânica dos revestimentos é dada pela sua resistência ao desgaste superficial e por sua capacidade de resistir a esforços mecânicos sem deformações plásticas visíveis. Na resistência mecânica, implica tanto o consumo e a natureza dos agregados e aglomerantes quanto à técnica de execução do revestimento. As resistências à tração e à compressão variam na razão inversa com a relação água/cimento (A/C), das misturas frescas, sendo que, a relação A/C varia na razão direta em relação ao teor e finura dos agregados e a consistência de preparo da argamassa.

É de suma importância que as argamassas de revestimento possuam a capacidade de absorver deformações sem ruptura e de não comprometer, pela existência de microfissuras, à aderência, estanqueidade superficial e durabilidade.

2.1.3 Argamassa leve com agregado vegetal

De acordo com GRANDI (1997)¹¹, a argamassa com agregado vegetal pode ser elaborada a partir de uma mistura simples de cimento Portland, agregado vegetal e água, resultando em argamassa leve, a qual poderá, entre outras aplicações, ser utilizada em regularização de contrapisos, enchimentos de lajes e argamassas de revestimento. O agregado vegetal apresenta características dinâmicas, onde o conhecimento de tais propriedades possibilitam o auxílio na determinação dos índices físicos e mecânicos da argamassa. A consistência plástica das argamassas pode permitir a trabalhabilidade adequada para a moldagem dos corpos-de-prova submetidos aos ensaios mecânicos, sendo necessário, conforme GRANDI (1995)¹², adequar a plasticidade da argamassa vegetal, por exemplo, otimizando-se a relação A/C, para obter-se a trabalhabilidade desejada.

2.2 Cimento

Conforme afirmam KATTAR & ALMEIDA (1997)¹³, o cimento Portland, atualmente conhecido na construção civil como cimento, é um pó fino com propriedades aglomerantes, que endurece sob ação da água, através da hidratação de seus produtos, não se decompondo após o endurecimento, se submetido novamente à ação da água. Sua mistura com outros tipos materiais, tais como a pedra britada, a areia, a cal, entre outros, resulta nos concretos e nas argamassas utilizadas na construção civil. As características e propriedades desses compostos dependerão da qualidade e da composição de seus materiais, sendo que, o cimento é o mais ativo quimicamente e, portanto, o principal responsável pela transformação da mistura em produto final desejado. Deve-se conhecer bem suas propriedades e características, para que se possa utilizá-lo corretamente

Existem no Brasil vários tipos de cimento Portland, sendo que suas designações, segundo as últimas especificações brasileiras realizadas pela ABNT, são descritas na tabela 2.1. O emprego de cada tipo de cimento depende basicamente da sua aplicação e destino.

Tabela 2.1 - Tipos de cimentos utilizados, segundo as normas da ABNT

• Comum (EB 1/NBR 5732)	CPI	Comum
	CPI-S	Comum com Adição
• Composto (EB 2138/NBR11578)	CP II-E	Composto com Escória
	CP II-Z	Composto com Pozolana
	CP II-F	Composto com Filler
• Alto-Forno (EB 208/NBR 5735)	CP III	
• Pozolânico (EB 758/NBR 5736)	CP IV	
• Alta Resistência Inicial (EB 2/NBR 5733)	CP V-ARI	
• Resistente a sulfatos (EB 903/NBR5737)	Sigla de seu tipo acrescida de "RS"	
• Branco (Projeto de Norma nº 18: 10101-008/91)	CPB	Estrutural e não estrutural

Kattar & Almeida - Centro Tecnológico Holdercim (1997)

As argamassas constituídas por agregado vegetal pesquisadas neste trabalho foram elaboradas a partir da mistura de dois tipos de cimento classe 32, CPV-ARI e CII-E. Portanto, a pesquisa foi baseada nesses dois tipos de cimento, principalmente no que diz respeito ao estudo de suas propriedades e de suas características.

O cimento CPV-ARI tem como principal característica a obtenção de alta resistência inicial nos primeiros dias, em função da moagem mais fina do cimento ainda na fase de produção do clínquer, o qual, em contato com a água, reage conferindo às argamassas elevadas resistências com maior velocidade, acelerando o processo de início de pega da argamassa cimentícia. O cimento CII-E, composto com escória granulada de alto forno com teor em massa de 6-34%, apresenta um comportamento padrão de suas propriedades em relação às argamassas (resistência à compressão, calor gerado na reação do cimento com água, impermeabilidade, resistência aos agentes agressivos e durabilidade).

2.3 Compósitos

Os materiais cimentícios têm grande afinidade em relação à definição de compósitos, por serem constituídos de componentes distintos, cuja associação confere ao conjunto propriedades que isoladamente não possuem. Seu comportamento e suas propriedades podem ser melhor compreendidas, idealizadas e prognosticadas através de uma análise comparativa, utilizando-se conhecimentos mais recentes embasados na tecnologia do concreto.

Os compósitos tradicionais, como o concreto e as argamassas convencionais, não satisfazem todas as exigências de desempenho e qualidade, assim como não se comportam satisfatoriamente em todas as circunstâncias a que são submetidos. Em vários países despende-se muito recursos para a conservação e restauração de estruturas de concreto, pelo fato de não terem sido projetadas com esse propósito, principalmente com relação a sua durabilidade. A combinação de diversos tipos de materiais, em meio à matriz cimentícia, poderá trazer novas soluções para os atuais problemas de projetos, exploração e aplicação dos materiais de construção. Como em todo campo do conhecimento humano, poderão aparecer mais perguntas

do que respostas.

Em uma de suas classificações, os compósitos podem ser caracterizados por duas fases: a matriz, que é a fase contínua do compósito, e as chamadas inclusões, que preenchem a matriz formando a fase dispersa. As inclusões podem assumir a forma de partículas, grãos, fibras ou poros separados e/ou interligados. Os termos matriz e inclusão podem ser utilizados de diferentes modos, a matriz pode ela mesma ser composta de inclusões envoltas por algum tipo de aglomerante, que são materiais com capacidade de unir outros componentes assegurando a transmissão de tensões, como o cimento Portland. Entre a matriz e as inclusões existe uma região intermediária chamada interface ou zona de transição, através da qual são transmitidas as tensões da matriz para as inclusões e vice-versa, sendo em geral uma região mais enfraquecida, podendo sofrer deformações plásticas ou fissuras, modificando consideravelmente o comportamento do compósito quando submetido a ações externas.

Os aglomerantes podem ser utilizados como matrizes ou formando matrizes juntamente com outros componentes, podendo-se citar os polímeros, os materiais à base de cimento, os metais, os betumes, as cerâmicas, etc. Na tabela 2.2, tem-se alguns exemplos de aglomerantes hidráulicos e suas respectivas características mecânicas:

Tabela 2.2 - Aglomerantes e suas características mecânicas

Aglomerantes Hidráulicos	Densidade $\times 10^3$ (kg/m ³)	Resistência		Módulo de Elasticidade (GPa)
		Compressão (MPa)	Tração (MPa)	
Pasta de cal	1,0	1 – 10	0,2	–
Pasta de gesso	1,2	10 – 12	3,0	–
Pasta de cimento Portland	2,0 – 2,2	10 – 25	2,0 – 9,0	10 – 20
Argamassa de cimento Portland	2,1 – 2,3	10 – 40	1 – 7	10 – 30

Cement-Based Composites : Materials, Mechanical Properties and performance
A . M . BRANDT (1997)

Conforme afirma BRANDT (1995)¹⁴, os compósitos podem ser classificados de acordo com vários critérios, sendo que o mais importante, sob o ponto de vista físico, refere-se aos tipos de descontinuidades criadas na estrutura do material, ou seja, sistemas de descontinuidades que podem ser introduzidas no interior da estrutura dos materiais. Diferentes componentes podem satisfazer várias condições, tais como: bloquear e controlar a propagação de fissuras, melhorar a resistência do compósito, aumentar sua porosidade, melhorar sua capacidade como isolante térmico, modificar a transferência de fluidos e gases através do compósito, dentre outros.

2.3.1 Compósitos cimentícios à base de partículas vegetais

Entre os compósitos cimentícios existe um vasto grupo de compósitos com matrizes frágeis, incluindo os de anatomia vegetais. As fibras de madeira, produzidas sob forma de partículas, que são usualmente descartadas pela indústria madeireira, misturadas com pasta de cimento, foram utilizadas desde os anos 20 para a produção de placas aplicadas em edificações, com a função de isolante térmico.

Inúmeros são os trabalhos com os compósitos cimentícios à base de elementos vegetais, sejam fibras ou partículas, com o propósito de viabilizar sua utilização como material de aplicação na construção civil. O grande interesse na utilização desses elementos está nas inúmeras vantagens que proporcionam, como a reciclagem de resíduos da indústria madeireira, considerados matéria prima barata, acessível, renovável e biodegradável. Segundo BERALDO (1994)¹⁵, o compósito a partir de produtos à base de cimento e partículas de madeira tornou-se de interesse comercial nos anos trinta, com a fabricação de painéis leves, cujo aglomerante era o cimento magnesiano.

De acordo com KRENCHER (1974) apud HANNANT (1978)¹⁶, a celulose pode ser usada em compósitos cimentícios, na forma de fibras, em volumes entre 15-20%, para dar as propriedades apropriadas de resistência. Infelizmente, tem a desvantagem de ser higroscópica, ou seja, as dimensões das fibras variam com o teor de umidade, além disso não toleram temperaturas acima de 100-120 °C.

Conforme LEWIS & MIRIHAGALIA (1979)¹⁷, a maioria das fibras vegetais consistem em longas cadeias de moléculas de glicose unidas entre si por pontes de hidrogênio e pela lignina. Contém vazios em excesso, cerca de 50% de seu volume total, que preenchidos pela umidade afetam a estabilidade dimensional do material. Se a dimensão da fibra for grande, a ligação da fibra à matriz também é afetada. Além do que, as reações que ocorrem durante a hidratação do cimento com a liberação da cal na forma de Ca(OH)_2 propiciam um meio altamente alcalino da solução, que pode atacar a fibra vegetal. Para a utilização satisfatória da fibra com o cimento, esta deve suportar tal ataque sem que ocorra perda substancial da sua resistência.

Embora os compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais tenham propriedades mecânicas relativamente baixas em relação às fibras sintéticas, de acordo com CAMPBELL & COUTTS (1980)¹⁸, apresentam, por outro lado, a vantagem de terem baixa densidade, baixo custo e baixa demanda de energia durante sua manufatura. Antes da mistura do compósito, deve ser verificado a compatibilidade química e física dos materiais, sendo que a compatibilidade química da fibra e do cimento dependerá principalmente do tipo de tratamento empregado para a produção da fibra. Sabe-se também, que pode ocorrer a inibição da pega do cimento quando se adiciona à pasta de cimento algumas espécies de fibras, acreditando-se que este efeito é devido à presença dos extrativos contidos na madeira. Com relação às propriedades mecânicas, o módulo de elasticidade das fibras é da ordem esperada para o cimento de Portland (7-28 GPa), e baixo quando comparado com outras fibras de reforço, como o aço e o vidro. Isto significa que, com a adição das fibras é improvável o aumento do módulo de elasticidade do compósito, assim como a sua retração. Entretanto, ocorre antecipadamente um aumento da energia da fratura, e da diminuição das fissuras devidas à retração.

Os primeiros trabalhos no Brasil, empregando-se as fibras como componentes do compósito cimentício, foram realizados a partir de 1980, no CEPED, Bahia, conforme GUIMARÃES (1990)¹⁹, implicando na escolha de materiais naturais abundantes, como as fibras vegetais provenientes das culturas de sisal, piaçava, coco, bambu e cana de açúcar, da região Nordeste. Foram determinadas propriedades mecânicas desses materiais e a influência de parâmetros, como o comprimento da fibra e a fração do volume em relação à matriz cimentícia,

quando o compósito era submetido a esforços de flexão (tabela 2.3).

Características da matriz cimentícia :

Areia / cimento = 1 (volume); Água / cimento = 0,43; Tensão de flexão = 5,62 MPa

Tabela 2.3 - Propriedades mecânicas das fibras vegetais em relação ao comprimento da fibra e à fração do volume

Fração da fibra em Volume (%)	Comprimento da Fibra (mm)	Tensão de Flexão do compósito	
		Coco (MPa)	Sisal (MPa)
5	5	5,74	5,45
5	30	5,93	6,56
5	60	5,85	5,71
4	270	4,47	12,0

Utilização de fibras vegetais como reforço para argamassas de cimento
S. das S. GUIMARÃES (1982)²⁰

Muito tem sido publicado com relação às propriedades mecânicas dos compósitos cimentícios reforçados com as fibras vegetais, mas segundo COUTTS & KIGHTLY (1984)²¹, pouco se afirmou a respeito do seu comportamento em condições de umidade e de como seria a estrutura de ligação desses compósitos. Através de estudos com a utilização de microscopia eletrônica de varredura, constatou-se que o principal mecanismo de fratura da fibra ocorre com teor de umidade baixo, sendo maior o efeito de arrancamento da fibra em relação ao aumento do teor de umidade da amostra.

COUTTS (1984)²² estudou a possibilidade de se refinar a polpa das fibras de madeira antes de sua utilização como material de reforço em compósitos cimentícios. No caso da utilização das fibras da essência florestal *Pinus radiata* , o tratamento das fibras contribuiu para alcançar melhores propriedades mecânicas para o respectivo compósito.

A questão da durabilidade desses compósitos é importante na medida em que cresce o

interesse em sua aplicação como material de construção. Segundo SHARMAN & VAUTIER (1986)²³, o efeito da utilização de mecanismos de envelhecimento acelerados para avaliar a vida útil dos compósitos, como a corrosão, a carbonatação, condições forçadas de umidade e o ataque de microorganismos, podem depender do pré-tratamento dado às fibras de celulose.

Com o tempo as fibras naturais se decompõem produzindo um enfraquecimento na matriz dos compósitos. De acordo com GRAM & NIMITYONGSKUL (1987)²⁴, esse enfraquecimento pode ser evitado substituindo-se parte do cimento Portland por materiais pozolânicos, tais como a sílica ativa e cinza da casca do arroz. A cinza obtida da queima da casca do arroz contém sílica, que possui propriedades pozolânicas, dessa maneira ela reage com a cal do cimento, durante o processo de hidratação, formando a sílica de cálcio hidratada (CHS), que contribui para o aumento da resistência do compósito. O processo da queima da casca influencia tanto a atividade pozolânica como a própria moagem da casca.

Como afirmam COUTTS & WARDEN (1988)²⁵, os requisitos essenciais para valores ideais de resistência mecânica, para os compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais, diz respeito ao bom envolvimento da fibra pela pasta de cimento, distribuição uniforme das fibras na matriz e um baixo índice de vazios.

O transporte da água nos poros e as inter-relações das tensões, devido à retração do compósito cimentício reforçado com fibra vegetal, foram pesquisadas por AKERS & PARTL (1989)²⁶, utilizando-se um modelo de câmara ambiental. Constataram que o movimento da água no interior do compósito pode ser muito complexo, e que quando exposto à câmara ambiental o compósito pode sofrer complexas concentrações de tensões, dependendo da densidade e/ou da distribuição do tamanho dos poros e da taxa de absorção ou da perda de água.

De acordo com BENTUR & MINDESS (1990)²⁷, as fibras de madeira relativamente curtas e inflexíveis, são geralmente fortes e com melhor desempenho durante seu envelhecimento em meio cimentício. Assim sendo, através de um processo onde as partículas de madeira são imersas em várias soluções e submetidas a um tratamento mecânico especial, com a finalidade de extrair fibras de celulose de boa qualidade na forma de polpa; este tratamento consiste na quebra

das fibras em unidades de células de fibra.

Uma proposta apresentada por KARAM (1994)²⁸, a respeito de uma modificação geral nos modelos utilizados para o estudo do efeito do volume da fibra nas propriedades da resistência dos compósitos reforçados com fibras curtas, considera o compósito como uma mistura de pasta de cimento, fibras e de vazios. A contribuição da matriz para a resistência do compósito é expressa em função do volume de vazios e da fração de volume das fibras. Uma modificação para a contribuição na resistência das fibras se baseou na proposta da redução da superfície de interface, devido às interações fibra-fibra e fibra-volume de vazios. Além disso, a fração de volume de vazios é relacionada experimentalmente à fração de volume das fibras.

As fibras vegetais largamente disponíveis nos países em desenvolvimento tornam esses materiais convenientes para utilização em reforço de matriz frágil, mesmo que apresentem um desempenho relativamente deficiente mecanicamente e de baixa durabilidade. Segundo afirma AGOPYAN & JOHN (1992)²⁹, há duas aproximações para a melhoria da durabilidade das fibras vegetais: uma é baseada na proteção seca das fibras, revestindo-as ou selando o composto seco para evitar o efeito da água, principalmente alcalina; sendo que a outra aproximação é dirigida para a redução de alcalinidade na matriz, desenvolvendo pastas com baixa alcalinidade baseando-se em produtos industriais e agrícolas.

Portanto, embora exista muita informação disponível, decorrente da pesquisa realizada em concretos, argamassas e pastas reforçadas com elementos vegetais, há a necessidade de uma avaliação mais aprofundada no que diz respeito, principalmente, à durabilidade desses compósitos. Além de outros fatores, segundo GRAM (1983)³⁰, o meio altamente alcalino da matriz de cimento e principalmente a influência da umidade ambiente, limitam a vida útil dos elementos produzidos à base de elementos vegetais. Adicionar pozolanas ao cimento (sílica ativa, cinza volante, argila calcinada, cinza da casca de arroz, etc.) é um dos melhores meios de se reduzir a alcalinidade do cimento, para níveis tais que permitam que a fibra vegetal contribua, durante o maior tempo possível, com a resistência do compósito. Segundo SWAMY (1990)³¹, os tratamentos químicos para proteção dos elementos vegetais na matriz de cimento mostraram-se ineficientes, não evitando a deterioração desses elementos; por outro lado, os elementos vegetais

permanecem praticamente inalterados em meio aos concretos carbonatados

De acordo com LIN et al. (1994)³², as fibras de madeira, incluindo fibras de papéis reciclados, são viáveis economicamente e eficientes no reforço de matrizes cimentícias. Os estudos de boas aproximações para tratar a incompatibilidade existente entre as fibras de madeiras e o cimento, são importantes para o sucesso na utilização das fibras como reforço. Os extrativos da madeira presentes nas fibras em diferentes níveis de concentração, dependendo de cada espécie, tendem inibir a hidratação do cimento, limitando, portanto, a resistência da matriz dos compósitos. A estrutura ôca das fibras pode colapsar em diversos níveis, devido ao efeito mola da fibra após aumentar seu volume pela absorção ou retraindo por causa da perda de água, conforme a mudança na umidade. Tal comportamento das fibras pode causar microfissuras na matriz durante o processo de hidratação do cimento, necessitando-se portanto, acelerar o tempo de pega do cimento com a utilização de um aditivo apropriado. Alguns aditivos podem também servir simultaneamente para reduzir custos, melhorar as ligações químicas e a trabalhabilidade. A melhoria do método de mistura, a adição de sílica ativa modificando a matriz cimentícia e a aplicação de moldagem sob pressão, mostraram-se eficientes para o aumento da resistência do compósito.

Em conformação com SAVASTANO & AGOPYAN (1997)³³, as fibras vegetais sofrem grande influência das intempéries e da alcalinidade do meio a que estão expostas, por causa da decomposição química da lignina e da hemicelulose, presentes na lamela intercelular, reduzindo assim a capacidade de reforço das fibras individuais.

A introdução de um tratamento para eliminação das substâncias presentes no pó de serra, através da lavagem em solução alcalina, contribui positivamente nas propriedades dos compósitos. Segundo GRANDI (1991)³⁴, foram obtidos melhores valores de resistência do compósito, com tratamento do pó de serra em solução alcalina, quando comparado às amostras sem a lavagem. O tratamento realizado tem como finalidade a redução ou a eliminação das substâncias que inibem a pega do cimento e interferem no processo de hidratação. Na argamassa com agregado vegetal, durante a cura úmida, o cimento reage com a água, hidratando e ativando seus compostos químicos, resultando na formação de um gel, que com o passar do tempo, se

cristaliza e forma uma película resistente de aglomerante em torno das partículas do agregado vegetal.

2.3.2 Aplicações e vantagens

De acordo com SWAMY (1990)³¹, embora existam fibras naturais em abundância e prontamente disponíveis a baixo custo, muitas são as desvantagens, como o módulo de elasticidade baixo, elevada absorção de água, susceptibilidade ao ataque de fungos e insetos, falta de durabilidade em um ambiente alcalino e variabilidade das propriedades entre fibras do mesmo tipo. Não é surpresa, portanto, que as fibras naturais nem sempre foram a escolha pronta ou automática como um meio de reforço em matrizes cimentícias, apesar do interesse difundido, dos esforços de inúmeras pesquisas e de muitas aplicações experimentais. Os principais fatores que contribuem para seu lento desenvolvimento é a falta de informação científica precisa da estrutura e das propriedades das fibras naturais, de sua compatibilidade com várias matrizes e das propriedades dos próprios compósitos.

Na literatura especializada, existe uma larga escala de valores para cada propriedade, dentro de uma determinada classe de fibra. As fibras podem ser derivadas da folha, da haste ou do tronco, variando em seus diâmetros e comprimentos. Dentre as várias espécies que podem ser utilizadas na produção das fibras vegetais, o Abacá, em 200 variedades pesquisadas, apresentou comprimento de fibras variando de 5,0 - 9,0 mm e larguras de 12,4 - 21,5 mm. Outro fator que tornam as pesquisas de compósitos difíceis e complexas é o fato de que as fibras naturais são ôcas; em um determinado tipo de fibra, o lúmen aumenta de tamanho com a idade, alterando a área da seção transversal. Ficam evidentes, portanto, os efeitos destrutivos da solução porosa alcalina nas fibras orgânicas, que com o tempo deterioram-se, não conferindo propriedade de reforço no compósito.

A curto prazo as fibras promovem coesão e trabalhabilidade à matriz de cimento, auxiliando na retenção da retração plástica e das fissuras por retração devido à secagem inicial. A ação de reforço prolongado entre a matriz e a fibra pode ser assegurada, a longo prazo, somente

por procedimentos cuidadosamente calculados para melhorar a estabilidade da fibra na matriz cimentícia.

As fibras vegetais contêm vários constituintes conhecidos como inibidores da pega e do desenvolvimento das propriedades da matriz cimentícia. Longe de aumentar o tempo de manipulação da mistura, os extrativos provenientes da madeira, solúveis em água, impedem também que o compósito alcance sua máxima característica de resistência e durabilidade. A decomposição da fibra é muito mais rápida em um meio alcalino do que na água, e o grau de decomposição dependerá da natureza da fibra. O grau de polimerização e acessibilidade à hemicelulose e à lignina afetam prejudicialmente o tempo de pega e o desenvolvimento da resistência, havendo a necessidade de um controle, que pode ser obtido na prática através de baixas relações água/pasta e da utilização de um acelerador compatível, possibilitando a otimização da perda da resistência.

Diante das novas exigências impostas pelo mercado da construção, os vários tipos de compósitos de cimento Portland representam uma grande contribuição para o desenvolvimento dos elementos estruturais e não estruturais, relativos à engenharia civil. Apesar do seu recente surgimento, os compósitos cimentícios estão entre os produtos da nova geração de materiais de construção. Em relação aos elementos não estruturais, seu rápido desenvolvimento só será possível graças ao uso de grande variedade de cimentos especiais, fibras, partículas, misturas e de novas tecnologias.

GUIMARÃES (1990)¹⁹ citou, como exemplo de aplicação para os compósitos com fibras vegetais, a utilização em componentes habitacionais, como telhas do tipo canal, calhas, pias de cozinha e caixas d'água. SAVASTANO & AGOPYAN (1997)³⁵ afirmam que é possível a aplicação de compósitos de argamassas constituídos de cimento de escória de alto forno e reforçadas com fibras de coco em painéis para paredes estruturais. Para utilização como placas de forro, as pastas são reforçadas com papel-imprensa desintegrado.

É possível o emprego das fibras vegetais em reforço de argamassa e também sua utilização em concretos reforçados. Entre as inúmeras vantagens da utilização dos resíduos vegetais destaca-se o seu reaproveitamento, uma vez que os mesmos são descartados pela indústria madeireira e praticamente não possuem valor comercial. A presença da fibra vegetal no compósito possibilita a produção de elementos com características de leveza e isolamento térmico.

De acordo com o CEPED (1982)³⁶, considerando-se a disponibilidade de matéria prima para produção das fibras vegetais no Brasil, destaca-se a produção nacional das fibras de sisal, com cerca de 30% da produção mundial, além de ser de suma importância o seu cultivo em área do agreste nordestino, denominado polígono das secas, onde além de não haver muitas opções econômicas, não existem outras culturas alternativas. Uma observação importante no que concerne ao emprego de sisal e piaçava no fibrocimento é que são empregadas fibras com poucos centímetros de comprimento, aproveitando-se a parte pouco ou nada comercializável dessas fibras.

Segundo BERALDO & ARZOLLA (1999)³⁷, são cada vez mais escassas as fontes naturais de agregados utilizados na construção civil, sendo relativamente altos os custos finais envolvendo sua extração, produção e transporte. No caso da areia, além de ser um recurso não renovável, sua extração representa risco permanente ao meio ambiente, alterando o equilíbrio dos ecossistemas existentes. A substituição das fibras de asbesto e o reaproveitamento de resíduos vegetais utilizados na forma do Compósito Biomassa Vegetal-Cimento (CBVC), possibilitam sua utilização em condições de competir com outros materiais alternativos. O material apresenta propriedades peculiares como a baixa massa específica, implicando em menores custos de estrutura e fundação; alta tenacidade, capacidade de suportar grandes deformações pós-fissuração, isolante termo-acústico e também baixo coeficiente de dilatação térmica.

2.4 Aspectos morfológicos do compósito

As propriedades termofísicas da argamassa, segundo CINCOTTO et al. (1995)³, são influenciadas por diversos fatores: composição e quantidade de matéria sólida, distribuição, geometria e dimensões dos poros que conferem estrutura celular à argamassa, teor de umidade e tipo de gás contido no interior dos poros.

AKATSU & SATO (1988)³⁸ afirmam que a condutividade térmica dos materiais está na razão inversa em relação à quantidade de ar presente no material e na razão direta em relação à massa específica aparente. A condutividade aumenta em função do teor de umidade contida nos materiais, uma vez que a água tem capacidade de isolamento inferior ao do ar e substitui parte do volume gasoso contido nos poros. Os valores de condutividade são delimitados pela microestrutura do agregado. Os agregados de estrutura cristalina, agregados quartzosos, com poros interconectados, conduzem mais calor do que os agregados de estrutura vítrea, com poros em distribuição discreta. No caso da argamassa com agregado vegetal, o agregado contribui para a redução da condutividade térmica em relação às argamassas convencionais, considerando-se que a madeira em geral tem uma capacidade de isolamento térmico maior que o agregado quartzoso (tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Propriedades térmicas da areia e de alguns tipos de madeira

Materiais	Propriedades			Referência
	Massa específica aparente (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kgK)	Condutividade térmica (W/mK)	
Areia seca (1,2mm de diâmetro)	1340	0,75	0,27	1
Cavaco de madeira (12% umidade)	74	-	0,055	1
Carvalho (12% umidade)	659-749	1,63	0,161	2
Cipreste (12% de madeira)	502-514	1,63	0,30-0,132	2
Pinus (12% de umidade)	457	-	0,14	1

(1) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo S.A.

(2) ASHRAE – Handbook of Fundamentals, 1985 – Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1985

Os compósitos cimentícios são, em geral, materiais de textura porosa, sendo que a composição, a quantidade de matéria sólida, a distribuição, a geometria e dimensões dos poros e o teor de umidade, exercem grande influência na determinação do índice de condutividade térmica desses materiais. Durante a sua utilização podem ocorrer sensíveis modificações em relação à estrutura, principalmente na porosidade. Com relação à matriz cimentícia dos compósitos, sabe-se que o cimento Portland desenvolve um processo contínuo de hidratação, bem como a formação de produtos provenientes da sua reação, influenciando na formação de sua microestrutura e nas propriedades físicas ao longo do tempo.

A mistura da argamassa com agregado vegetal, segundo GRANDI (1995)¹², confere ao compósito um aumento de sua porosidade, que por sua vez está na razão direta em relação à quantidade de água na mistura; como conseqüência, tem-se um material com maior capacidade termo-isolante.

2.5 Conceitos de transmissão de calor por condução

Nos sólidos, a transmissão de calor se inicia quando existe uma diferença de temperatura entre pontos distintos do elemento, com o fluxo de calor se propagando em todas as direções, sempre do ponto de maior temperatura para os pontos de menor temperatura. Considera-se, neste fenômeno, dois princípios que governam a transmissão de calor por condução: o primeiro constitui o chamado *regime permanente* ou *estacionário*, com fluxo constante de calor, o segundo é o *regime variável*, com a variação do fluxo de calor com o tempo. No regime permanente as temperaturas entre as superfícies do sólido permanecem uniformes.

RIVERO (1986)³⁹ analisou o processo de transmissão de calor através de um elemento construtivo, localizado entre dois meios “X” e “Y”, com suas respectivas temperaturas T_x e T_y . O elemento, de espessura “d”, foi limitado nas suas extremidades por um material isolante, para evitar-se a fuga de calor (figura 2.1). Inicialmente, com $T_x = T_y$ tem-se em todos os pontos do elemento a mesma temperatura e, portanto, um estado de equilíbrio térmico com os meios, não existindo fluxo de calor através do elemento.

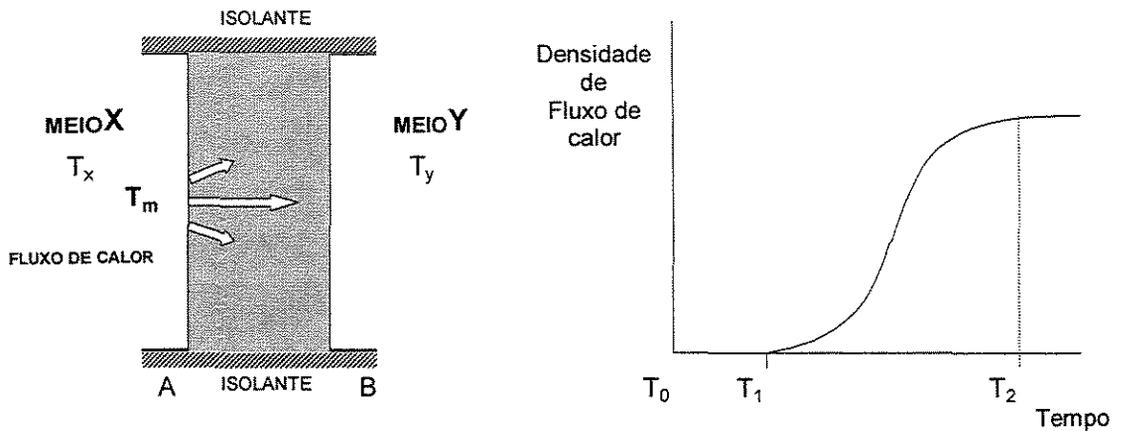


Figura 2.1 - Representação gráfica do fluxo de calor

Ao elevar-se a temperatura da superfície “A” para T_m , com início em T_0 , observa-se uma variação de temperatura na superfície “B” após decorrido o intervalo de tempo T_1 , comprovando-se um aumento gradual do fluxo de calor. Mantendo-se constante a diferença entre as temperaturas T_m e T_y , haverá um determinado instante T_2 que corresponderá ao tempo após o qual o fluxo de calor se estabiliza. Considerando-se constante a diferença de temperatura entre os meios e as propriedades térmicas do conjunto, pode-se afirmar que, a quantidade de calor que passa pela superfície “A” é a mesma que chega na superfície “B”.

Observa-se então, a partir do gráfico da figura 2.1, que:

1. No intervalo de tempo compreendido entre T_0 e T_2 , existe uma variação na quantidade de calor transmitida, caracterizando o princípio do regime variável (fluxo variável de calor).
2. A partir do tempo T_2 , a quantidade de calor que passa pela superfície “A” é a mesma que chega na superfície “B”, caracterizando o princípio do regime permanente (fluxo constante de calor).

No processo de transmissão de calor, a condutividade térmica (λ) é considerada uma propriedade fundamental do material. Expressa a quantidade de calor transmitido através de um material considerado homogêneo, em regime estacionário, por unidade de espessura, unidade de área e unidade de tempo, quando a diferença entre as temperaturas de suas faces é a unidade.

$$\frac{W \cdot m}{m^2 \cdot K} = \frac{W}{m \cdot K} \quad \text{ou} \quad W/mK \text{ (unidade dimensional)}$$

2.6 Métodos experimentais de determinação da condutividade térmica em materiais porosos e isolantes

Os estudos das propriedades térmicas dos materiais de construção são merecedores de uma atenção especial quando relacionados à elaboração de projetos arquitetônicos adequados ao conforto térmico. Assim, é de fundamental importância a obtenção de maiores conhecimentos relativos à ciência dos materiais, sob o ponto de vista da estrutura da matéria, para o desenvolvimento de ensaios que permitam avaliar tais propriedades em edificações.

Segundo a literatura relacionada às propriedades térmicas dos materiais, existe uma grande quantidade de métodos de determinação da condutividade térmica. Este tema é o escopo de estudos de pesquisadores em diversas áreas de atuação, como a física, a termofísica, a química, as engenharias elétrica e mecânica. A determinação dos valores de condutividade térmica dá-se em função dos diversos tipos de materiais e de suas utilizações, sejam eles de extrema precisão, como os semicondutores e cristais, ou simplesmente materiais isolantes, caracterizados pela sua baixa condutividade térmica.

2.6.1 Introdução

O desenvolvimento de técnicas experimentais para a determinação das propriedades, calor específico (c), condutividade (λ) e difusividade térmica (α), que são específicas a cada material e com determinação para diferentes tipos de materiais, tem interessado a muito pesquisadores devido a sua larga aplicação na resolução de muitos problemas na área da engenharia.

Segundo KAMIUTO & IWAMOTO (1987)⁴⁰, o método da placa quente protegida tem sido largamente utilizado para determinar a condutividade térmica de materiais porosos. Esta determinação pode ser utilizada efetivamente para uma avaliação grosseira da transferência de calor por condução e radiação. Contudo, baseado na equação de energia, uma exata previsão da condução e radiação de transferência de calor em uma espessura média porosa aponta para o conhecimento de sua efetiva condutividade térmica, e isso inclui a transferência de calor por radiação. Portanto, é necessário determinar a condutividade térmica efetiva, baseando-se na informação da condutividade obtida experimentalmente.

De acordo com LEE & TAYLOR (1978)⁴¹, nos compósitos em geral, os materiais heterogêneos consistem em uma matriz homogênea e isotrópica, com uma segunda fase onde as partículas estão dispersas. Supondo-se que a concentração do volume de partículas dispersas seja constante e que o material seja quase homogêneo e quase isotrópico, é possível calcular as propriedades do compósito dadas as propriedades da matriz e das partículas dispersas. Infelizmente, poucos são os casos cujos cálculos podem ser feitos rigorosamente. Portanto, as tentativas de se derivar fórmulas generalizadas, dependem da existência de sistemas experimentais bem definidos. É muito difícil descrever a geometria da fase dispersa, a não ser que se considere a geometria das partículas individuais, assim como o arranjo espacial de uma partícula em relação a outra. Essas variáveis incluem :

1. A geometria da fase dispersa
 - (a) Forma das partículas
 - (b) Tamanho e tamanho da distribuição das partículas

(c) Concentração e concentração da distribuição das partículas

(d) Orientação das partículas

2. O estado da matéria da fase dispersa
3. A composição da fase dispersa
4. A composição da fase contínua

De acordo com TAYLOR & KELSIC (1986)⁴², os compósitos reforçados com fibras oferecem uma melhoria nas propriedades térmicas e mecânicas em relação à maioria dos materiais convencionais. Estes materiais possuem maiores resistências em relação à sua massa específica, melhor resistência à corrosão e ao desgaste, e melhor fadiga em relação a metais de liga leve e de alta resistência. Com o exame das limitações na aplicação dos conceitos de difusividade térmica desses compósitos, através da utilização da técnica de raio laser para medição da difusividade aparente, os efeitos da fração de fibra, a relação da condutividade térmica entre a fibra e a matriz, de acordo com a orientação da fibra e o comprimento das amostras, conclui-se que a condutividade térmica é o principal fator que governa seu comportamento térmico. Outro parâmetro de controle é a fração de fibra, onde o comprimento da amostra e orientação da fibra podem modificar o comportamento térmico dos compósitos.

Através do contínuo interesse dos antigos pesquisadores pela determinação da condutividade térmica, Fourier, no século XVII, chegou a uma equação relacionando o fluxo de calor que atravessa um corpo com a diferença de temperatura entre as suas faces (equação 2.1).

$$\lambda = \frac{q \cdot e}{\Delta T} \quad (2.1)$$

onde:

λ = condutividade térmica ; (W/mK)

q = fluxo de calor médio ; (W/m²)

e = espessura da amostra ; (m)

ΔT = diferença de temperatura entre as faces. (K)

Definiu-se, assim, uma propriedade física característica de cada material. Atualmente os métodos de medição de condutividade são basicamente divididos em dois grupos: os métodos estacionários (medição feita com fluxo de calor constante) e os métodos dinâmicos (medição de condutividade feita com fluxo de calor variável).

Os materiais de construção podem ser considerados como materiais de múltiplas fases, ou seja, matéria no estado sólido, líquido (água) e gasoso (ar ou gases no interior dos poros). A transferência de calor através desses materiais envolve três conceitos distintos: a condução através do sólido, da água e do ar; a convecção através dos movimentos dos gases e a radiação entre as superfícies sólidas. A determinação da condutividade térmica é a soma dos efeitos combinados destes fenômenos.

De acordo com AKATSU & SATO (1988)³⁸, a condutividade térmica do ar à temperatura ambiente e livre de movimentos convectivos é da ordem de 0,025 W/mK, a da fase sólida situa-se, em geral, entre 0,2 a 0,4 W/mK (compreendendo desde os polímeros ao granito) e a da água é de 0,6 W/mK. No caso dos materiais porosos, o valor da condutividade dependerá da composição e da quantidade de matéria sólida, da distribuição, da forma e da dimensão dos poros e do teor de umidade, assim como das propriedades termofísicas dos mesmos. A condutividade térmica está na razão direta em relação à massa específica aparente dos materiais e diminui quanto maior for a quantidade de ar presente em seu interior. A figura 2.2 apresenta intervalos dos valores de condutividade para diversos tipos de materiais de construção e ilustra o fato de que materiais com mesma massa aparente não apresentam, necessariamente, o mesmo valor de condutividade. É o caso dos concretos com agregados leves de massas específicas semelhantes, porém com agregados diferentes com relação à microestrutura.

Nos casos dos materiais não isotrópicos, em que o fluxo de calor pode apresentar variação segundo a direção de condução, deve-se levar em conta os fatores determinantes destas diferenças. É o caso das madeiras que apresentam, para uma determinada espécie e para uma dada massa específica aparente, valores de condutividade diferentes segundo a direção do fluxo de calor em relação à direção das fibras.

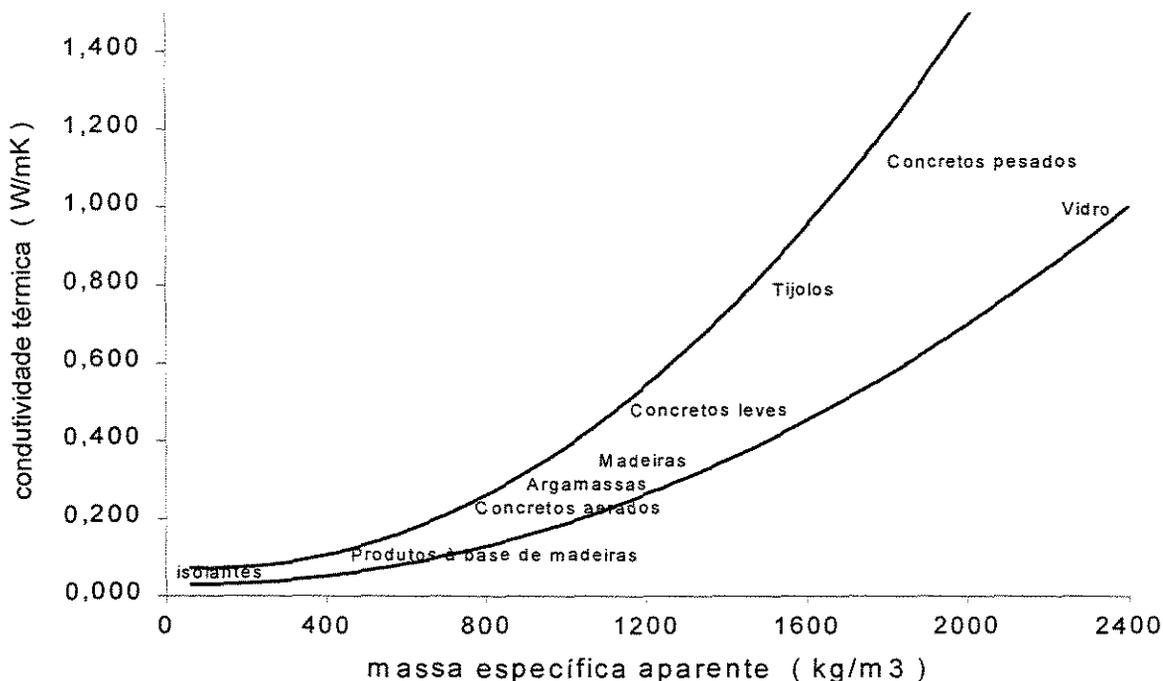


Figura 2.2 - Variação da condutividade térmica em função da massa específica aparente dos materiais de construção

Em conformidade com GUIMARÃES & PHILIPPI (1993)⁴³, normalmente se mede a condutividade através de métodos normatizados em regime permanente, o qual é um processo longo, chegando a um intervalo de 4 horas para que se alcance o regime em laboratório e 24 horas em campo. Esse procedimento pode acarretar uma redistribuição de umidade na matriz porosa, além de representar uma limitação na aplicação em materiais novos e que degradam-se quando aquecidos. Torna-se necessário, então, a aplicação de métodos transientes rápidos.

O procedimento básico utilizado na determinação de propriedades como a condutividade e difusividade térmica envolve a concepção de um modelo teórico a partir da equação da difusão de calor, que descreve um campo térmico no material investigado. Em seguida, obtém-se as propriedades a partir da comparação entre os dados experimentais e teóricos previstos no modelo.

A metodologia de determinação das propriedades térmicas para os compósitos, baseada nos principais métodos utilizados para medição de condutividade térmica, são descritas seguir.

2.6.2 Método Flash

O método Flash , segundo PARKER et al. (1961)⁴⁴, utiliza um pulso de alta intensidade e curta duração sobre uma superfície enegrecida da amostra, medindo-se a história da temperatura na face oposta, mantendo-a isolada. Uma das maiores vantagens é a obtenção da difusividade térmica sem a necessidade de se computar o valor do calor imposto na superfície, $x = 0$ (referência inicial). Obtém-se assim, a difusividade, condutividade e a capacidade térmica através de expressões apropriadas, segundo CARSLAW & JAEGER (1959)⁴⁵.

Dentre as principais fontes de erro, incluem-se os erros associados aos desvios das condições experimentais em relação às condições de contorno, assumidas no modelo matemático, conforme TAYLOR (1979)⁴⁶. Além do efeito do pulso finito, das perdas de calor e da não uniformidade no aquecimento, segundo SHOEMAKER (1986)⁴⁷.

Uma das desvantagens do método está no seu custo, uma vez que envolve a utilização de equipamentos com radiação do tipo laser, devido à alta sensibilidade e rapidez de resposta necessários às instrumentações de medição para condutividade térmica.

2.6.3 Método da Sonda Térmica

O método da Sonda Térmica, proposto inicialmente por BLACKWELL (1954)⁴⁸, envolve a colocação de um elemento filiforme (sonda), no centro axial do meio que se deseja medir, geralmente em forma cilíndrica. A sonda tem a função de dissipar calor e medir a temperatura no interior da amostra, atuando como um termômetro de resistência, possibilitando a instalação de termopares no corpo da sonda (figura 2.3).

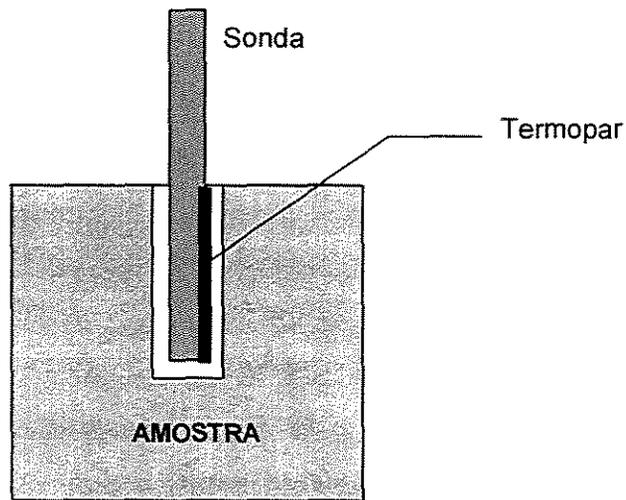


Figura 2.3 - Representação esquemática de uma típica sonda térmica

Utiliza, como base de cálculo, a equação para uma fonte de calor em forma de linha infinita imersa num meio suposto infinito, segundo CARSLAW & JAEGER (1959)⁴⁵. A principal fonte de erro provém da temperatura da sonda que supõe-se uniforme, mas normalmente é mais baixa em suas extremidades devido aos efeitos do resfriamento causados por seus suportes. Conseqüentemente, um aumento de temperatura acarretaria um valor maior na condutividade térmica estimada. O método apresenta a vantagem da simplicidade das equações e da forma direta de obtenção das propriedades térmicas, tendo como desvantagem o fato do experimento ter caráter destrutivo, segundo KNIBBE (1986)⁴⁹.

2.6.4 Método da Placa Quente Protegida

O método da Placa Quente Protegida, de acordo com MOURA et al. (1993)⁵⁰, é utilizado para a medição da condutância térmica de materiais isolantes com uma condutividade térmica inferior a $3,5\text{W/mK}$, obedecendo fundamentalmente as normas ASTM C177-76⁵¹, BSI BS-874⁵² e AFNOR NFX10-021⁵³.

O equipamento é constituído por uma placa quente, com aquecimento central, sobre a qual ficam dispostas simetricamente as amostras e as placas de refrigeração, denominadas placas frias (figura 2.4). Submete-se a amostra, de espessura conhecida, a uma densidade de fluxo de calor unidimensional e, quando o experimento atinge o regime permanente, mede-se o gradiente de temperatura.

A condição da condução de calor unidimensional é obtida a partir da utilização de um anel de guarda envolvendo a placa aquecedora, de modo que para amostras de dimensões limitadas, têm-se o comportamento térmico de uma placa infinita limitada por duas placas paralelas e isotérmicas.

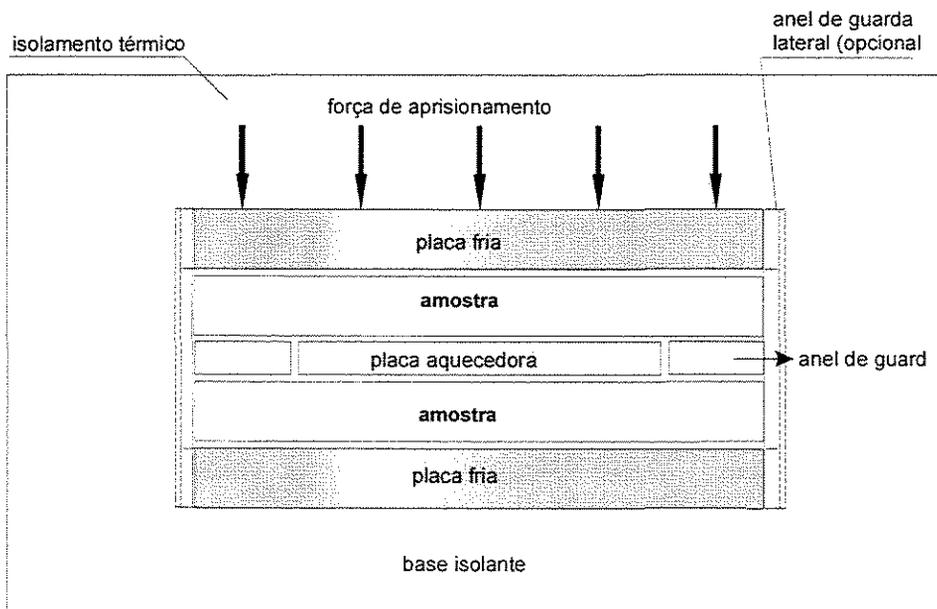


Figura 2.4 - Esquema do equipamento da Placa Quente Protegida

A condutividade térmica é calculada a partir da quantidade de calor que passa através da área do amostra, por unidade de tempo, envolvendo as temperaturas entre as superfícies e a distância entre as mesmas, pela relação fenomenológica de Fourier (equação 2.2).

UNICAMP

BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

$$\lambda = \frac{q_d \cdot L}{2 \cdot A \cdot \Delta T} \quad (2.2)$$

onde,

- λ = condutividade térmica ; (W/mK)
- q_d = potência elétrica dissipada no núcleo da placa quente ; (W)
- L = espessura média das amostras ; (m)
- A = área efetiva de geração do fluxo de calor
(correspondente à área do núcleo da placa quente) ; (m²)
- ΔT = diferença média de temperatura entre as faces opostas da amostra . (K)

O tempo das medições tem duração de 12 a 24 horas, dependendo do material. A principal fonte de erros está relacionada com a obtenção do regime permanente e fluxo unidimensional. Este método pode ser utilizado em materiais porosos, termicamente homogêneos, onde o fluxo de calor é transmitido pelas partes sólida e gasosa, que constituem o material.

2.6.5 Método Fluximétrico

O método Fluximétrico, segundo a Proposta para norma técnica de desempenho térmico de edificações PROJETO 02:135.07-005 (1998)⁵⁴, é um método de utilização de técnicas fluximétricas para medir a condutividade térmica em regime permanente, através de amostras na forma de placas ou painéis planos, deduzindo-se, por cálculo, as propriedades de resistência e transmitância térmica dessas amostras. Aplica-se aos materiais manufaturados e isolantes térmicos de edificação. A norma foi redigida em conformidade com as normas ASTM C518-85⁵⁵, AFNOR NFX10-025⁵⁶ e ISO8301⁵⁷.

A condutividade térmica depende das características geométricas das amostras, das propriedades térmicas dos materiais que constituem as amostras e de suas eventuais interações com o dispositivo de medição. O fluxímetro compreende uma zona de medição cercada de uma zona periférica servindo de suporte, com características térmicas similares. A parte ativa do fluxímetro é constituída de um sensor que produz um sinal (f.e.m) proporcional à densidade do fluxo térmico que o atravessa.

O princípio do método baseia-se na medição da resistência térmica em regime estacionário, primeiramente com a aplicação de uma densidade de fluxo de calor simultaneamente constante e unidirecional, a partir de duas superfícies isotérmicas mantidas a temperaturas constantes e diferentes uma da outra, através da zona central de medição de um fluxímetro e da zona central de uma amostra em forma de placa.

É um método relativo, que necessita de uma pré-calibração em relação ao método absoluto da placa quente protegida com anel de guarda definido. A calibração do(s) fluxímetro(s) deve ser efetuada no próprio dispositivo com o auxílio de amostra de referência, e num domínio no mínimo igual à faixa de temperaturas de funcionamento e à faixa de fluxo de calor previsto. Esta calibração fornece a lei de proporcionalidade entre o sinal elétrico produzido (f.e.m) e a densidade de fluxo de calor (q'').

Os dispositivos de medição podem compreender uma placa aquecedora, um ou dois fluxímetros, uma ou duas amostras e uma placa de resfriamento. Segundo o número de fluxímetros, número de amostras e seus respectivos posicionamentos, pode-se conceber três possíveis configurações de medição (figura 2.5).

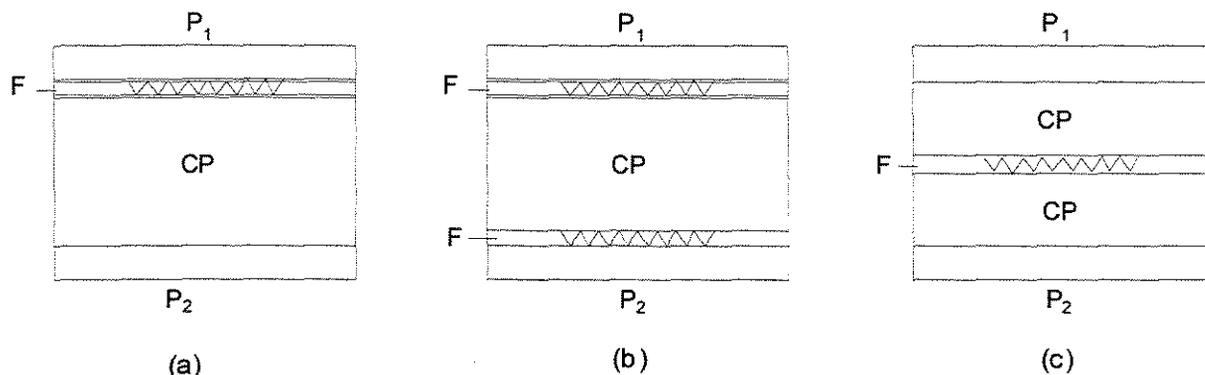


Figura 2.5 - Esquemas possíveis de configurações do método fluximétrico

P1 e P2 = placas quente e fria F = fluxímetro CP = corpo-de-prova

- (a) configuração “assimétrica com um fluxímetro e um corpo-de-prova”, sendo que o fluxímetro pode ser posicionado contra uma ou outra placa.
- (b) Configuração ”simétrica com dois fluxímetros e um corpo-de-prova”.
- (c) Configuração “simétrica com um fluxímetro e dois corpos-de-prova”

A densidade de fluxo térmico (q'') que atravessa a amostra é determinada a partir do sinal (f.e.m) fornecido pelo fluxímetro e de sua constante de calibração, sendo que o cálculo da resistência térmica (R) é dado por:

$$R = \frac{\Delta T}{q''} \quad (2.3)$$

onde,

- R = Resistência térmica ; (m².K/W)
- ΔT = Diferença de temperatura entre as faces da amostra ; (K)
- q'' = Densidade de fluxo térmico ; (W/m²)

Calcula-se a condutividade térmica através da seguinte equação:

$$\lambda = \frac{e}{R} \quad (2.4)$$

onde,

λ	=	Condutividade térmica ;	(W/mK)
e	=	Espessura da amostra ensaiada ;	(m)
R	=	Resistência térmica ;	(m ² .K/W)

2.6.6 Método do Fio Quente Paralelo

O método do Fio Quente Paralelo, segundo NOGUEIRA et al. (1993)⁵⁸, é uma variação do método do fio quente e consiste em medir a temperatura da amostra a uma certa distância do fio, através de um termopar colocado paralelamente a este e próximo ao centro do corpo-de-prova, evitando-se possíveis efeitos de borda. FARHAT (1985)⁵⁹, analisou a influência da colocação do termopar em posições diferentes ao longo do comprimento do corpo-de-prova, concluindo ser necessária uma distância mínima de 3,0 cm das extremidades.

A metodologia empregada para obtenção dos valores das propriedades térmicas baseia-se na norma DIN51046/76⁶⁰. O tempo necessário para cada ensaio é de aproximadamente 30 minutos, com uma geração constante de calor. É aconselhável a realização de ensaios em materiais com condutividade térmica até 2,0 W/mK.

2.6.7 Método do Fio Quente

O método do Fio Quente, segundo FARHAT (1995)⁶¹, é um método de determinação de condutividade térmica que consiste na linha geradora de calor em regime não permanente. Segue as indicações do texto normativo DIN51046/76⁶⁰, sendo recomendado para aplicação em materiais com condutividade térmica máxima em torno de 2,0 W/mK.

O modelo matemático baseia-se nas equações de fluxo de calor, segundo CARSLAW & JAEGER (1959)⁴⁵. Uma aproximação necessária para que se obtenha a equação simplificada de cálculo é de que o material do fio seja infinitamente mais condutor que o material a ser ensaiado.

Em função de uma das aproximações referentes ao modelo matemático, utilizam-se amostras com baixos valores de condutividade térmica, resultando em medidas mais precisas, como descrito anteriormente.

O método utiliza uma fonte na qual uma corrente elétrica é conduzida através de um fio elétrico condutor, introduzido no interior do corpo-de-prova a ser ensaiado. A potência dissipada no fio dá origem a campos de temperatura, cujas isoterms são superfícies cilíndricas no interior do material isolante ensaiado, sendo o fio o eixo do campo de calor gerado. O aumento de temperatura em um ponto junto ao fio está relacionado com a potência dissipada e com a condutividade térmica do corpo-de-prova (equação 2.5), permitindo o cálculo do coeficiente de condutividade térmica.

$$\Delta T_F = \frac{q_u}{4\pi\lambda} \ln t + \frac{q_u}{4\pi\lambda} \ln \frac{4\alpha}{r^2} - \frac{j q_u}{4\pi\lambda} \quad (2.5)$$

onde,

ΔT_F	=	aumento da temperatura junto ao fio ;	(°C)
q_u	=	calor dissipado por unidade de tempo e comprimento, na fonte ;	(W/m)
λ	=	condutividade térmica do corpo de prova ;	(W/mK)
j	=	constante de Euler ;	(0,5772)
r	=	distancia radial (distância do ponto ao eixo do fio) ;	(m)
α	=	difusividade térmica do corpo de prova ;	(m ² /s)
t	=	tempo ;	(s)

A expressão (2.5) representa uma reta onde a variável é ℓnt e cujo coeficiente angular desta é β , tal que $\beta = \frac{q_u}{4\pi\lambda}$

Podemos escrever, então, que $\beta = \frac{\Delta T_f}{\Delta \ell nt} = \frac{q_u}{4\pi\lambda}$ e que, portanto:

$$\lambda = \frac{q_u \Delta \ell nt}{4\pi \Delta T_f} \quad (2.6)$$

O procedimento consiste, então, em registrar o aumento da temperatura em função do tempo, plotar estes resultados de forma que, em um dos eixos, o tempo esteja na escala logarítmica, calcular o coeficiente angular da reta obtida e aplicar a relação (2.6), uma vez conhecida a grandeza q_u .

O fio deve ser colocado entre dois corpos-de-prova cuja dimensão, depois de acoplados, permita a inscrição de um cilindro de raio e comprimento mínimo de 60 mm e 200 mm, respectivamente. O conjunto deve ser comprimido a fim de possibilitar a aderência e diminuir a quantidade de ar existente. Junto ao fio deve-se colocar um sensor de temperatura e registrar a temperatura do corpo-de-prova em função do tempo, logo que começar a circular a corrente, uma vez que, no instante inicial, a temperatura é a ambiente.

A figura 2.6 apresenta um esquema de montagem do arranjo experimental para medição de condutividade térmica do Fio quente, podendo ser montado no interior de forno para medições em altas temperaturas (até 1600 K); nesse caso a temperatura estacionária do forno passa a ser a temperatura inicial.

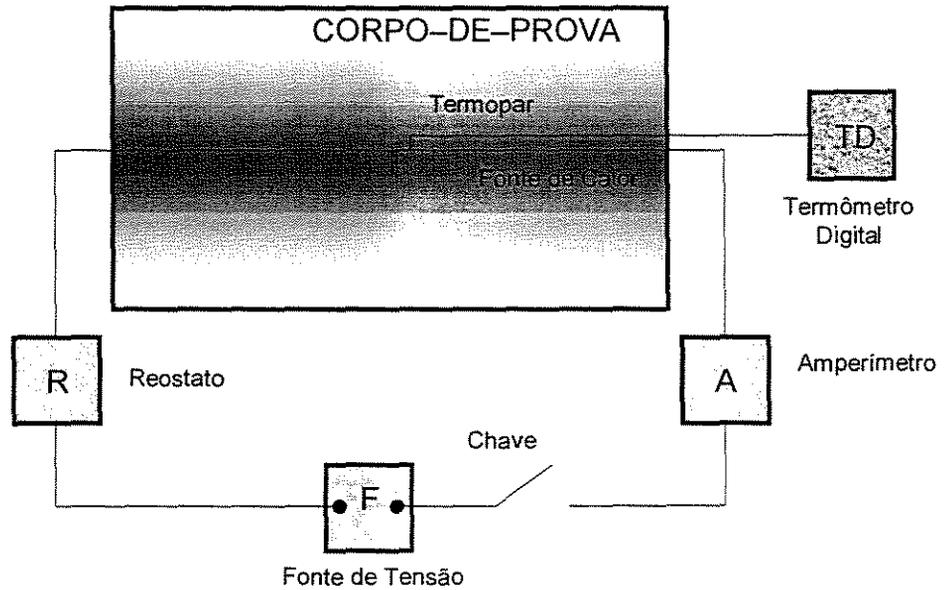


Figura 2.6 - Esquema de Montagem do equipamento do Fio Quente

3 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é a determinação da condutividade térmica em argamassas leves, à base de agregado vegetal. Como objetivos secundários:

- Buscar, para a sua determinação, um método específico, próprio para materiais de construção civil, adaptado à materiais com baixos valores de condutividade térmica ou isolantes. Utilizar um método prático e eficiente, que determine valores capazes de classificar o material em uma escala representativa em comparação aos outros tipos materiais empregados na construção civil.
- Contribuir para a normatização do uso do método Fluximétrico, inserido na proposta de elaboração para a norma de conforto térmico, caracterizando-o como um método padronizado para determinação de condutividade térmica em materiais de construção.
- Caracterizar uma argamassa à base de agregado vegetal, como uma opção de argamassa leve, avaliando seu comportamento em relação à argamassa convencional, através dos ensaios de condutividade térmica, de resistência mecânica e de absorção de água por capilaridade.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Por tratar-se de estudo de material de construção não convencional, agregado vegetal, foram adaptados os procedimentos das normas da ABNT⁶² para agregados miúdos. Foram conduzidos, principalmente, quatro ensaios independentes, sendo que nos dois ensaios iniciais, de compressão simples e de tração na compressão diametral, foram determinadas as propriedades mecânicas dos compósitos; no terceiro ensaio, foi determinada a absorção de água por capilaridade; e no quarto ensaio a condutividade térmica, em regime estacionário, pelo método fluximétrico.

4.1 Caracterização física dos materiais

Em todos os ensaios da argamassa com agregado vegetal foram utilizados as misturas de pó de serra tratado (*pinus sp*), cimento Portland e água proporcional a cada traço, obtendo-se diferentes composições. Dessa forma, foi empregada a textura normal correspondente à classificação granulométrica do agregado passante na peneira com malha de abertura 4,8 mm. Foram confeccionadas três amostras (repetições) para cada tipo de traço da mistura em massa e para todos ensaios de caracterização da argamassa, utilizando-se como referência quatro tipos de traço básicos com dois tipos de cimento (CPV-ARI 32 e CII-E 32). Para a argamassa convencional utilizou-se o material caracterizado e por CESTARI & PAULON (1999)⁶³, sendo três tipos de areia e cimento CII-E 32.

4.1.1 Tipo de cimento utilizado para a formação das argamassas

Foram utilizados dois tipos de cimento para a argamassa leve, CPV-ARI 32 (cimento Portland com alta resistência inicial - classe 32) e CII-E 32 (cimento Portland composto com escória - classe 32), e para a argamassa convencional CII-E 32. O cimento de proveniência ensacada está sujeito a possíveis variações de suas propriedades em relação às exigências segundo especificações da ABNT para o cimento Portland. As amostras de cimento foram obtidas na região de Campinas-SP, de forma intencional para que a argamassa vegetal pudesse ser avaliada com a utilização de materiais obtidos na região onde foi realizado o respectivo trabalho.

A adição de água na mistura estará condicionada à obtenção da consistência plástica e trabalhabilidade necessárias, observando-se, para as argamassas leves as devidas restrições decorrentes do comportamento e das propriedades inerentes à utilização do agregado vegetal na mistura da argamassa, principalmente com relação à capacidade de absorção de água pelas partículas de madeira.

4.1.2 Composição, obtenção e caracterização física do agregado vegetal

A metodologia adotada para a caracterização física do agregado foi baseada no procedimento de GRANDI (1995)¹². Inicialmente, foi realizada a separação e a classificação granulométrica do agregado vegetal, determinando-se o teor de umidade do agregado (w_a) em secador infravermelho, modelo IRP-150 a 110 °C. Em seguida, determinou-se a massa unitária no estado seco e solto (γ_{ss}), de acordo com a norma NBR7251⁶², no estado seco e compactado (γ_{sc}), observando-se a norma NBR7810⁶² e a massa específica (γ_a) por meio do frasco de Chapman em concordância com a norma NBR9776⁶², e pelo ensaio do picnômetro, substituindo-se a água por etanol. Finalmente, determinou-se o coeficiente de inchamento /expansão, segundo a norma NBR6467⁶².

4.1.2.1 Análise granulométrica e tratamento do pó de serra para a obtenção do agregado vegetal

Para a obtenção dos corpos-de-prova o componente pó de serra passou por um processo, após o qual denomina-se agregado vegetal. O procedimento de transformação do pó de serra em agregado vegetal foi realizado da seguinte maneira: as partículas do pó de serra foram coletadas, seguindo-se o peneiramento através de 3 peneiras de abertura # 4,8 mm, montadas sobrepostas e com malhas desencontradas a 1/3 da abertura, com altura entre malhas de 4,8 mm. Somente o material passante foi utilizado, agora caracterizado como agregado miúdo leve. Após a separação granulométrica em peneira especial, foi realizado o tratamento do pó de serra através da lavagem com substância alcalina, de acordo com GRANDI (1991)³⁴, para a obtenção do agregado vegetal como matéria prima (figura 4.1).



Figura 4.1 - Amostra do agregado vegetal (*pinus sp*)

4.1.2.2 Classificação granulométrica do agregado vegetal

Após o tratamento do pó de serra foram determinadas algumas características físicas do agregado vegetal. O agregado vegetal foi colocado ao sol para secagem natural e exposto à umidade ambiente, determinando-se, em seguida, o teor de umidade (w_a) da amostra do agregado, através do secador infravermelho IRP-150, a 110°C (figura 4.2), evitando-se a combustão da matéria orgânica presente no agregado em temperaturas mais elevadas.

Para a composição da granulometria, o agregado vegetal foi separado e classificado após peneiramento. Pesou-se 100 g de agregado vegetal, que foi submetido ao processo de peneiramento durante 40 minutos no agitador mecânico de peneiras, segundo a série normal de peneiras da ABNT, sendo seqüencialmente utilizadas as peneiras de malhas com aberturas #4,8 mm ; #2,4 mm ; #1,2 mm ; 0,60 mm ; #0,30 mm ; #0,15 mm e fundo, de acordo com as normas NBR7211⁶² e NBR7217⁶². Verificou-se, então, a massa de material retida em cada peneira nos três ensaios realizados, sendo os resultados apresentados no capítulo 5, com a respectiva classificação do agregado de acordo com as normas da ABNT.

4.1.2.3 Determinação do teor de umidade do agregado vegetal

A determinação do teor de umidade foi realizada sempre antes do início de cada ensaio de caracterização do agregado, devido a grande variação desse índice físico, na amostra de agregado, em função da variação periódica da umidade relativa ambiente. Valendo-se de igual procedimento ao adotado para o item 4.1.2.1, uso do secador infravermelho IRP-150, a 110 °C (figura 4.2), determinou-se três valores de teor de umidade, coletados em pontos de localização variada do recipiente, sendo obtido a média dos valores para efeito de utilização nos ensaios de caracterização.

Na determinação do ensaio do teor de umidade, foi colocada parte da amostra coletada na balança do secador verificando-se sua massa inicial (aproximadamente 2,0-3,0 g, por ensaio). Em seguida, a amostra foi submetida à secagem artificial através de raios infravermelhos, sendo

verificado eletronicamente a constância de massa. O ensaio foi finalizado automaticamente pelo aparelho, incluindo um alerta com sinal sonoro, com a indicação da massa final, considerada seca. O cálculo do teor de umidade foi feito através da equação:

$$w_a = \frac{P_u - P_s}{P_s} \quad (4.1)$$

onde,

- w_a = teor de umidade do agregado ; (%)
- P_u = massa da amostra de agregado vegetal úmido ; (g)
- P_s = massa da amostra de agregado vegetal seco . (g)



Figura 4.2 - Secador Infravermelho IRP-150

4.1.2.4 Determinação da massa unitária do agregado no estado seco e solto

A massa unitária no estado seco e solto foi determinada, segundo procedimento indicado pela norma NBR7251⁶², porém utilizando-se um recipiente paralelepípedo de material metálico com volume de aproximadamente 20 dm³ (tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Dimensões do recipiente: massa unitária no estado seco e solto

D máx. agregado (mm)	Dimensões mínimas		Volume mínimo (dm ³)
	base (mm)	altura (mm)	
≤ 4,8	316 x 316	150	15
> 4,8 e ≤ 50	316 x 316	200	20
> 50	447 x 447	300	60

Tabela da norma NBR7251/1982

O recipiente foi preenchido pela amostra de agregado lançado de uma altura de 10 a 12 cm do topo do recipiente, até seu preenchimento total. A superfície foi regularizada através de uma régua, anotando-se, em seguida, a massa de agregado contida nesse volume.

A massa unitária no estado seco e solto foi a média dos resultados obtidos com três determinações, dividindo-se a massa do agregado pelo volume do recipiente utilizado, considerando-se o desconto da massa de água determinada pelo ensaio de teor de umidade. Os resultados estão apresentados no capítulo 5 (tabela 5.7).

média de valores obtidos massa = 4,63 kg com w = 9,10% (umidade)

Portanto, $\gamma_{ss} = 0,210 \text{ kg/dm}^3$, considerando-se o material seco.

4.1.2.5 Determinação da massa unitária do agregado no estado seco e compactado

A massa unitária no estado seco e compactado foi determinada, segundo procedimento indicado pela norma NBR7810⁶², utilizando-se uma haste de socamento (600 mm de comprimento e 16 mm de diâmetro) e um recipiente cilíndrico metálico com volume de, aproximadamente, 30 dm³ (tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Dimensões do recipiente: massa unitária no estado seco e compactado

AGREGADO	RECIPIENTE					
	D máx. característica NBR7211(mm)	Capacidade nominal (dm ³)	Diâmetro interno (mm)	Altura interna (mm)	Espessura da Chapa (dm ³)	
					Fundo	Paredes
4,8 < D _{máx} ≤ 12,5	3	150	170	5,0	3,0	
12,5 < D _{máx} ≤ 38	15	250	360	5,0	3,0	
38 < D _{máx} ≤ 76	30	350	312	5,0	3,0	
76 < D _{máx} ≤ 1252	90	450	566	5,0	3,0	

Tabela da norma NBR7810/1983

O recipiente foi preenchido até 1/3 do volume, nivelando-se a superfície com as mãos, dando-se, a seguir, 25 golpes com a haste, distribuídos uniformemente pela superfície; encheu-se o segundo terço do volume e repetiu-se a operação, finalizando-se com o terceiro terço até sobrar material acima do recipiente, repetindo-se a operação. Em seguida foram preenchidos os vazios restantes, completando o volume e nivelando sua superfície, anotando-se, em seguida, a massa de agregado contido nesse volume. A massa unitária no estado seco e compactado foi a média dos resultados obtidos com três determinações, dividindo-se a massa do agregado pelo volume do recipiente utilizado, considerando-se o desconto da massa de água. Os resultados estão apresentados no capítulo 5 (tabela 5.4).

média de valores obtidos massa = 7,53 kg com w = 9,10% (umidade)

Portanto, $\gamma_{sc} = 0,228 \text{ kg/dm}^3$, considerando-se o material seco.

4.1.2.6 Ensaio de inchamento/expansão do agregado

O ensaio de inchamento/expansão foi realizado de acordo com a norma NBR6467⁶², observadas algumas modificações de adaptação para o agregado vegetal, devido a sua capacidade de absorção de água. Utilizou-se o recipiente cilíndrico (volume $\cong 3,0 \text{ dm}^3$) e a haste de socamento (massa $\cong 1,0 \text{ kg}$), realizando o adensamento do agregado dando-se 25 golpes com a haste a uma altura de queda de 15 cm, em seguida, bateu-se com a haste na lateral do cilindro metálico, um número de vezes suficiente para que não restassem vazios provocados pelo adensamento com a haste, facilitando a acomodação das partículas do agregado, pesou-se, em seguida, o conjunto cilindro - agregado vegetal.

Inicialmente, foi feito o ensaio considerando-se o agregado seco, em seguida repetiu-se o procedimento para incrementos de 100 g de água, totalizando-se um número mínimo de oito repetições, até atingir o ponto máximo de inchamento do agregado. A mistura foi homogeneizada com as mãos, evitando-se a tendência de empolamento do agregado com uma melhor distribuição do incremento de umidade. Durante a realização do ensaio, observou-se, através da medição com o termohigrômetro (instrumento utilizado para medição de temperatura e umidade relativa ambiente), que com a temperatura em torno de 26° C ocorreu uma variação de aproximadamente 5 % na umidade relativa ambiente. Os resultados dos três ensaios realizados estão representados, respectivamente, no capítulo 5 nas tabelas 5.5, 5.6 e 5.7 e figuras 5.7, 5.8 e 5.9.

4.1.2.7 Determinação da massa específica do agregado por meio do frasco de Chapman

A massa específica foi determinada de acordo com a norma NBR9776⁶², utilizando-se 75 g de agregado miúdo leve e 350 cm³ de álcool em substituição à água. Tal substituição deve-se ao fato do álcool ter menor densidade em relação a água e o agregado possuir massa menor que o convencional; caso contrário o agregado vegetal ficaria na superfície da água (flutuaria). O frasco de Chapman, que já é padronizado para o ensaio do agregado miúdo quartzoso, possui uma indicação de menisco correspondente a um volume de água de 200 cm³, portanto, houve a necessidade de se adicionar 150 cm³ do respectivo volume em álcool acima da marcação indicada. Assim, procedeu-se o ensaio colocando-se o álcool no frasco e em seguida o agregado vegetal seco, agitando-se a mistura até a eliminação das bolhas existentes no interior do frasco. Inicialmente, algumas partículas do agregado permaneceram na superfície do álcool, mas a medida em que foram absorvendo o álcool, foram sendo depositadas gradativamente. Em seguida, realizou-se a leitura do nível atingido pelo álcool indicando o volume (cm³) ocupado pela mistura. Foram realizadas duas repetições do ensaio e duas leituras para cada ensaio, em três dias subsequentes, agitando-se o frasco antes de cada leitura, para efeito de eliminação máxima do ar ainda existente no conjunto. Os resultados encontram-se no capítulo 5 (tabela 5.8).

A massa específica do agregado vegetal foi calculada mediante a equação:

$$\gamma_a = \frac{75}{L - 350} \quad (4.2)$$

onde

γ_a = massa específica do agregado miúdo (g/cm³)

L = leitura do frasco, volume ocupado pela mistura. (cm³)

4.1.2.8 Determinação da massa específica dos grãos do agregado vegetal

Para a determinação da massa específica, além do ensaio através do frasco de Chapman, NBR9776⁶², foi utilizado o ensaio para determinação da massa específica dos grãos, metodologia normalizada para a determinação da massa específica através dos grãos de solo. A massa específica dos grãos de um solo é definido como a relação entre a massa de um determinado volume dos grãos pela massa de igual volume de água, destilada à temperatura de 4 °C.

Uma amostra de agregado vegetal foi pesada e colocada em estufa a 70 °C, até constância de massa, em quantidade suficiente para a determinação do respectivo índice físico em duas repetições. Para a execução deste ensaio, foram adaptados os seguintes procedimentos para o agregado vegetal: substituiu-se o álcool pela água, pela mesmas razões justificadas anteriormente, observando-se as devidas proporções entre as amostras de grãos de agregado vegetal e do volume de álcool, em relação ao volume do balão volumétrico a ser utilizado. Assim, utilizou-se 20 g do agregado, seco em estufa, para um volume de 500 ml de álcool. Colocou-se o álcool no balão volumétrico até atingir a marca do menisco (500 ml), após pesagem, anotou-se a temperatura do álcool, que foi de 24 °C, retirando-o do balão e determinando a massa específica do álcool. Em seguida, pesou-se 20 g do agregado vegetal, colocando-o, a seguir, em um balão volumétrico que foi preenchido com volume em álcool até cobri-lo totalmente. O conjunto foi levado para ser conectado à bomba de vácuo, para a retirada do ar existente, durante o tempo de 15 minutos aproximadamente, logo após completou-se o volume com álcool até atingir a marca do menisco do balão.

A massa específica dos grãos do agregado vegetal foi calculado mediante a expressão:

$$\gamma_s = \frac{W_d}{W_1 + W_d - W_2} \quad (4.3)$$

onde,

- γ_s = massa específica do agregado miúdo ; (g/cm³)
- W_d = massa da amostra do agregado vegetal seco utilizado ; (g)
- W_1 = massa do Balão volumétrico + álcool ; (g)
- W_2 = massa do Balão volumétrico + álcool + agregado vegetal (g)

4.2 Composição e obtenção dos corpos-de-prova (amostras)

Uma vez determinadas as características do agregado vegetal foram moldados os corpos de prova, atendendo as dimensões especificadas na norma NBR7215⁶² para argamassa, para os ensaios de resistência mecânica à compressão e à tração na compressão diametral. Utilizou-se o agregado vegetal em determinados traços da mistura, convenientemente escolhidos, para se obter dois diferentes tipos de consistência para a argamassa, viabilizando-se a mistura tanto para sua utilização como revestimento argamassado, como para a confecção de peças pré-fabricadas, através do processo de moldagem prensada.

4.2.1 Escolha dos traços: argamassa com agregado vegetal e convencional

Baseando-se no trabalho desenvolvido por GRANDI (1995)¹², que utilizou diversos tipos de traços para a argamassa com o agregado vegetal, e considerando-se que o estudo de dosagem para a composição de traços para o emprego da respectiva argamassa ainda vem sendo gradativamente desenvolvido, foram adotados quatro tipos de traço em massa para as amostras, apresentados a seguir.

CIMENTO : AGREGADO VEGETAL : ÁGUA

Traços em massa

T1	1 : 0,4 : 0,84	T3	1 : 0,4 : 1,36
T2	1 : 0,6 : 1,28	T4	1 : 0,6 : 1,50

A partir desses traços foram feitas variações no teor de água, correspondente às duas quantidades de agregado vegetal utilizadas nas misturas, ou seja, foi considerado a adição de 40% e 60% de agregado vegetal em massa em relação à quantidade de cimento. Para os traços com adição de 40% de agregado, considerou-se dois valores extremos do teor de água, 0,84 e 1,36 do traço em massa, a partir desses valores, variou-se gradativamente o teor de água com os valores 0,91 - 1,00 - 1,10 - 1,18. Igualmente, para a adição de 60% de agregado considerou-se dois valores extremos, 1,28 e 1,50 do traço em massa, a partir dos quais variou-se gradativamente o teor de água com os valores 1,31 - 1,35 - 1,38 - 1,42 . Dessa maneira, foram definidos os traços para os ensaios de caracterização da argamassa leve (tabela 4.3).

Foram utilizados, para a argamassa convencional padrão, três tipos de traços em massa: areia fina quartzosa - 1:3:0,80 , areia média quartzosa - 1:3:0,63 e areia fina siltosa - 1:3:0,62 (respectivamente cimento : areia : água).

Tabela 4.3 - Traços em massa de argamassa leve com agregado vegetal

Traço em Massa	Cimento	Agregado	Água
40 % de ag. vegetal	1	0,4	0,84
	1	0,4	0,91
	1	0,4	1,00
	1	0,4	1,10
	1	0,4	1,18
	1	0,4	1,36
60 % de ag. vegetal	1	0,6	1,28
	1	0,6	1,31
	1	0,6	1,35
	1	0,6	1,38
	1	0,6	1,42
	1	0,6	1,50

4.3 Ensaio de caracterização da argamassa leve com agregado vegetal e convencional

Para moldagem das amostras, foi desenvolvido um processo de mistura adequada ao tipo de material, diferente do processo convencionalmente utilizado para argamassa com uso da areia como agregado, segundo o procedimento recomendado pela norma NBR7215⁶². O processo tem por finalidade a utilização como argamassas industrializadas a partir das misturas secas entre agregado e aglomerante.

Para cada traço da argamassa foi feita a pesagem dos materiais envolvidos (cimento, agregado vegetal e água), misturando-se, inicialmente, em um saco plástico o cimento e o agregado vegetal até a mistura ficar homogênea, sendo a mesma colocada, em seguida, em um recipiente metálico próprio para mistura, adicionando-se proporcionalmente a água e homogeneizando-se gradativamente a mistura com o auxílio de uma colher de pedreiro, até a obtenção da respectiva consistência.

De acordo com o procedimento de moldagem de corpos-de-prova para argamassa, segundo a norma NBR7215⁶², a argamassa fresca foi moldada em quatro camadas aproximadamente iguais, com aplicação, por camada, de 30 golpes de soquete normal, homogeneamente distribuídos. Este procedimento foi utilizado tanto nos moldes dos corpos-de-prova cilíndricos para ensaios mecânicos, como nos moldes especialmente confeccionados para os ensaios de condutividade térmica pelo método fluximétrico, garantindo-se que a energia de compactação aplicada em cada uma das camadas seja a mesma para todas as amostras confeccionadas. Durante os ensaios, observou-se a temperatura de 23 ± 1 °C com uma umidade relativa de 53 ± 3 % .

Após moldagem, os moldes foram mantidos em atmosfera úmida para cura inicial por 3 dias; em seguida, foram desmoldados, permanecendo em câmara úmida por um período de tempo suficiente para a obtenção da resistência final da argamassa, especificada pela norma da ABNT, sendo de 14 dias para as amostras moldadas com o cimento CPV-ARI (EB 2-NBR 5733) e de 28 dias para o cimento CII-E (EB 2138 - NBR 11578).

4.3.1 Ensaio de resistência à compressão simples

Tanto para o ensaio de compressão simples como para o ensaio de tração, foram determinados os valores da resistência à compressão simples e à tração na compressão diametral em argamassa vegetal na textura normal, utilizando-se três corpos-de-prova (repetição) cilíndricos para cada traço da mistura, confeccionados a partir dos moldes recomendados pela ABNT para argamassa, nas dimensões 5x10 cm. As determinações foram realizadas aos 14 (CPV-ARI) e 28 dias (CPII-E 32 MPa) a partir da data de moldagem dos corpos de prova.

Para a determinação dos valores da resistência à compressão simples dos corpos-de-prova de argamassa vegetal, foi empregado o método normatizado pela ABNT, de acordo com a NBR7215⁶². Neste método, os esforços de compressão axial são exercidos até que ocorra a ruptura do corpo-de-prova (figura 4.3).

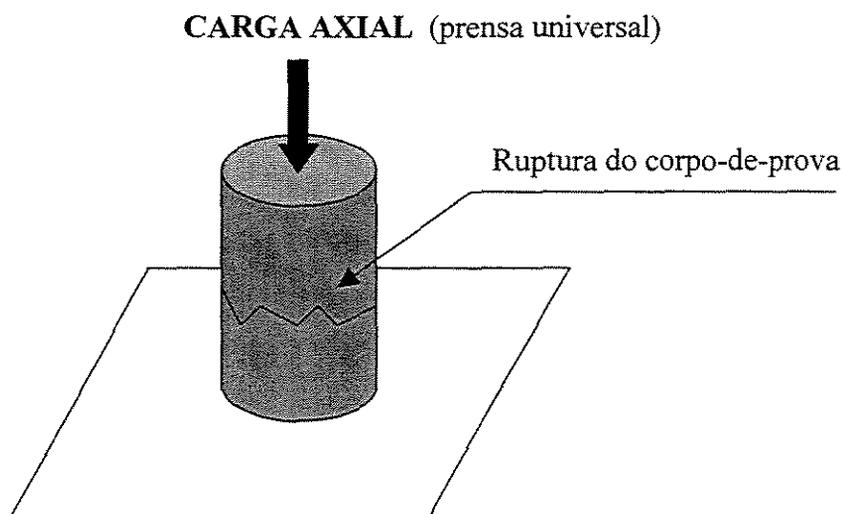


Figura 4.3 - Esquema da solicitação de carga axial no corpo-de-prova

O equipamento utilizado foi a prensa de ensaio universal do Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção da Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp (LEMC), marca Versa-Test, de fabricação alemã, de acordo com as especificações da norma NBR6156⁶².

4.3.2 Ensaio de resistência à tração na compressão diametral

Para determinação dos valores da resistência à tração na compressão diametral em corpos-de-prova de argamassa vegetal, foi empregado o método normatizado pela ABNT⁶², de acordo com a NBR7222⁶². Neste método, o corpo-de-prova será submetido a um esforço de compressão no sentido transversal, sendo que para cada incremento ocorrerá uma tensão de tração diametral correspondente, até que o esforço de compressão provoque a ruptura diametral do corpo-de-prova. Neste ponto, o esforço de compressão é tal que produz tensão de tração que excede a resistência à tração característica da amostra.

Deve ser observado que o contato entre o corpo-de-prova e os pratos da prensa universal dar-se-á somente ao longo de duas geratrizes diametralmente opostas do corpo de prova. Admite-se a colocação, entre os pratos e o corpo-de-prova, de duas tiras de chapa dura de fibra madeira, conforme especificado na norma NBR10024⁶² (figura 4.4).

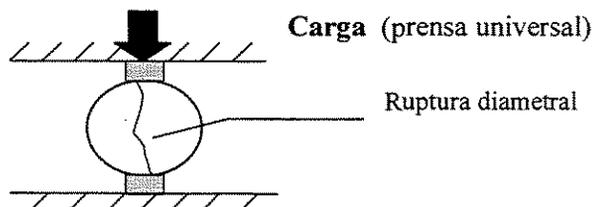


Figura 4.4 - Disposição do corpo-de-prova no ensaio de tração

A resistência à tração por compressão diametral é calculada pela expressão:

$$f_{t,D} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d \cdot \ell} \quad (4.3)$$

onde,

- $f_{t,D}$ = resistência à tração por compressão diametral ; (MPa)
- F = carga máxima de ruptura obtida no ensaio ; (kN)
- d = diâmetro do corpo de prova ; (mm)
- ℓ = altura do corpo de prova . (mm)

4.3.3 Determinação da absorção de água por capilaridade

A determinação da absorção de água por capilaridade é um importante parâmetro utilizado para análise da microestrutura e porosidade dos materiais, visto que, para os materiais à base de cimento, como os concretos, as argamassas e outros compósitos, a absorção influencia diretamente na durabilidade.

Para controlar o mecanismo de absorção dos poros, para os diversos materiais cimentícios, torna-se necessário conhecer sua estrutura e distribuição, fatores que influenciam particularmente a velocidade de transporte, possibilitando o ingresso de substâncias agressivas e a degradação física do material.

Para o concreto, segundo a C.E.B (1989)⁶⁴, os poros da pasta de cimento podem ser devidos ao adensamento, ao ar incorporado, aos capilares e ao gel, podendo ser classificados como macroporos, poros capilares e microporos, como esquematizado na figura 4.5 .

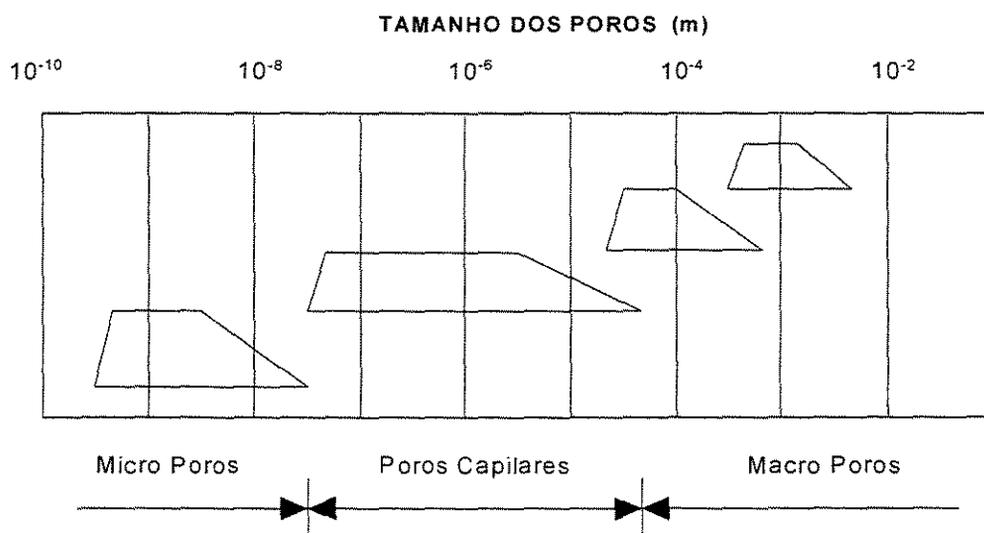


Figura 4.5 - Distribuição dos poros no concreto (CEB)

A porosidade medida pela absorção da água, corresponde à região dos poros capilares cujo raio médio encontra-se aproximadamente entre 0,01-100 μm . Esta região compreende também uma parte dos vazios devido ao ar incorporado no momento da mistura.

Define-se a absorção de água por capilaridade como sendo a massa de água por unidade de área que pode ser absorvida pelos capilares quando a amostra se encontra em contato com a água. No procedimento do ensaio, essa quantidade é medida pelo ganho de massa da amostra em água.

De acordo com CAMARINI et al (1999)⁶⁵, o tamanho dos poros capilares do concreto estabelece duas fases para o ensaio de absorção capilar, a absorção inicial, com o preenchimento da água nos poros capilares maiores; e a sorção com o preenchimento dos poros capilares mais finos. A absorção inicial compreende o intervalo de tempo de aproximadamente uma hora a partir do início do ensaio. Dessa maneira, o fenômeno pode ser representado graficamente por duas funções distintas (figura 4.6).

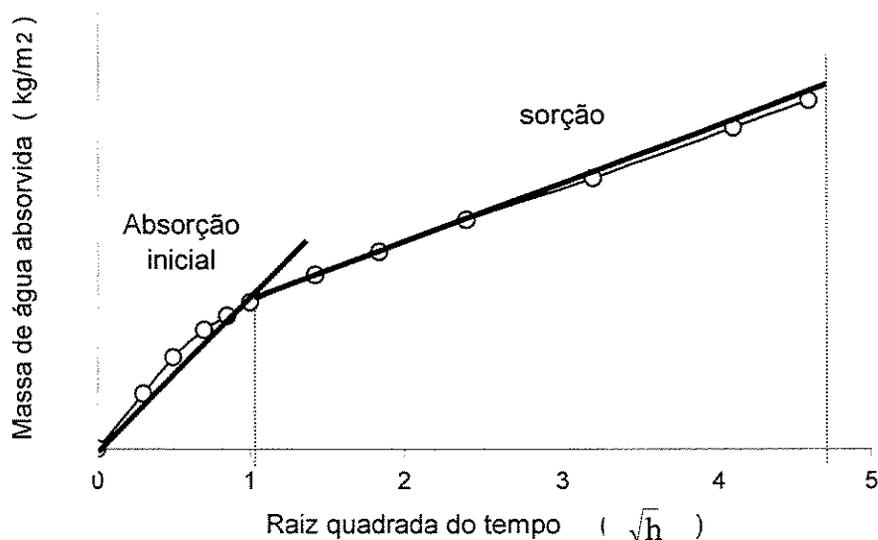


Figura 4.6 - Representação gráfica do ensaio de absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade foi realizado com amostras de argamassa com agregado vegetal nos traços e para os tipos de cimento anteriormente definidos, sendo três amostras para cada ensaio. Os corpos-de-prova cilíndricos (5x10 cm) foram colocados em uma camada de água, com nível constante e correspondente a 1,0 cm. As faces laterais das amostras foram protegidas com a aplicação de uma película de parafina, para evitar tanto a evaporação como a penetração de água, direcionando o fluxo em um único sentido (figura 4.7).

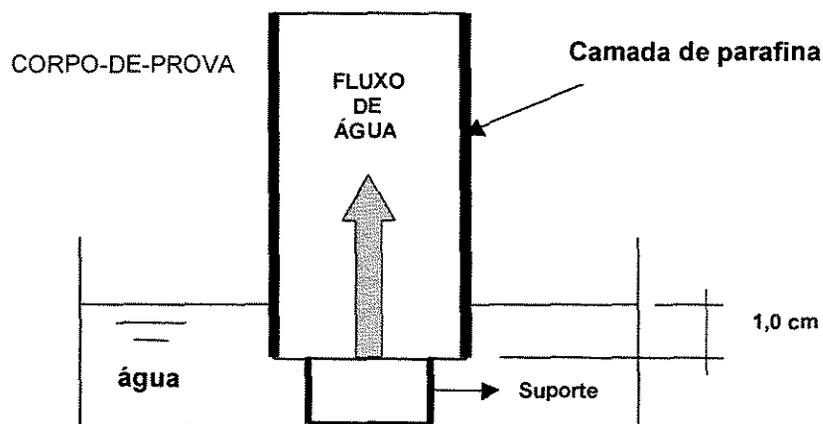


Figura 4.7 - Esquema do ensaio de absorção de água por capilaridade

A massa de água absorvida por amostra foi obtida através de sucessivas pesagens, eliminando-se a película de água retida na superfície inferior da amostra através de um pano úmido. Em sala apropriadamente climatizada a 20 °C, o ensaio teve a duração de 24 horas, com pesagens efetuadas seqüencialmente após decorridos: 1/12 h, 1/6 h, 1/4 h, 1/3 h, 1/2 h, 1 h, 2 h, 3h, 4h, 6h e 24 h.

Após o ensaio de absorção, os corpos-de-prova foram rompidos à tração na compressão diametral, observando-se a altura de penetração da água após 24 horas.

4.3.4 Determinação da condutividade térmica pelo método Fluximétrico

A condutividade térmica é um parâmetro de grande importância na caracterização dos materiais termo-isolantes, existindo vários métodos para sua determinação, sendo que cada método possui uma sensibilidade. Neste trabalho, o mais importante é considerar-se que os índices determinados para condutividade térmica sejam tratados como valores relativos, servindo como parâmetro de comparação entre os valores encontrados para a argamassa com agregado convencional (areia) e para a argamassa leve com agregado vegetal.

A determinação da condutividade térmica pelo método fluximétrico está inserida na elaboração da proposta de norma técnica para desempenho térmico de edificações, submetida ao Comitê Brasileiro de Construção Civil (CB-02), mais especificamente à Comissão de Estudos de Desempenho Térmico para Edificações (CE-02:135.07). É um método de medição que se utiliza de transdutores de fluxo de calor composto por termopares (fluxímetros), necessitando de calibrações periódicas feitas através de amostras padrões com propriedades semelhantes às das amostras em teste. Segundo DE PONTE & DI FILIPO (1974)⁶⁶, apesar de ter uma menor sensibilidade em relação ao método da placa quente protegida, apresenta, mesmo assim, algumas vantagens. Além da simplicidade e o baixo custo do sistema, pode-se ainda realizar ensaios em amostras envolvendo mudança de fase e migração de umidade de maneira mais segura que o método tradicional.

A escolha do método proposto está relacionada principalmente à sua praticidade de execução e preparação dos corpos-de-prova. Entre as alternativas propostas para a configuração do equipamento de medição, utilizou-se o sistema composto por duas placas com temperaturas distintas e constantes; a placa quente e a placa fria, com configuração simétrica a dois fluxímetros e a uma só amostra, com disposição de empilhamento vertical de placas horizontais, estando o fluxo de calor vertical descendente em relação à amostra (figura 4.8).

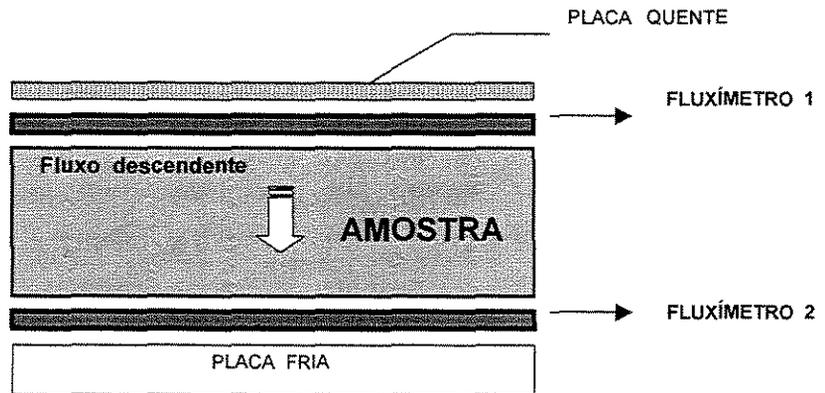


Figura 4.8 - Dispositivo do método Fluximétrico (2 fluxímetros e 1 amostra)

De acordo com GÜTHS (1990)⁶⁷, a figura 4.9 apresenta um ensaio para determinação de condutividade térmica com a amostra de parafina, calculada através do valor médio ($\lambda_{\text{médio}}$) dos fluxos registrados pelos transdutores superior ($\lambda_{\text{TFC-sup}}$) e inferior ($\lambda_{\text{TFC-inf}}$). Consegue-se desta forma, uma redução do tempo em até 1/3 do tempo normal de medição.

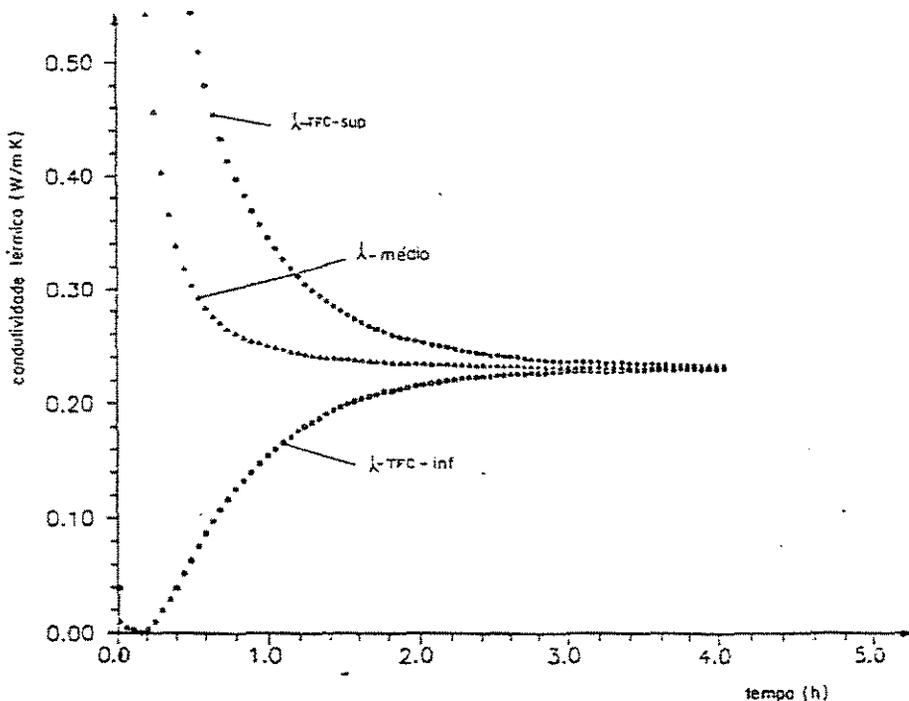


Figura 4.9 - Medição da condutividade térmica ao longo do ensaio calculada pelos fluxos superiores, inferiores e através da respectiva média.

Na configuração do dispositivo adotado para os ensaios, foi calculada a condutividade térmica média para todos os ensaios realizados, correspondente à curva de condutividade térmica média intermediária (figura 4.9). Observa-se que, ao se atingir o regime permanente, fica caracterizado o comportamento assintótico da curva em ambos os fluxímetros; conseqüentemente, também em relação ao valor médio calculado, evidenciando-se o valor da condutividade térmica determinado.

As amostras foram definidas nas dimensões 100 x 100 x 30 mm, em função do tipo de material e das especificações da proposta da norma de conforto térmico. Dessa maneira, foram elaboradas formas, especialmente confeccionadas para a moldagem das amostras, de modo a obter espessuras uniformes e superfícies com boa planicidade, em função da leitura de contato dos fluxímetros.

Foram realizados ensaios em três corpos-de-prova (repetições) para cada traço de argamassa com agregado vegetal. As determinações foram feitas após 14 e 28 dias da moldagem dos corpos-de-prova, em função da utilização de dois tipos de cimento, respectivamente CPV-ARI e CII-E 32. Durante este período, as amostras permaneceram em câmara úmida; em seguida ficaram em estufa a 80 °C, aproximadamente, três dias, até que apresentassem constância de massa.

O dispositivo experimental compreendendo o método fluximétrico foi composto por um sistema de aquisição de dados HP 3852A - 44705A, conectado a um micro computador, que monitoram o fluxo de calor e as temperaturas durante cada ensaio.

O sistema de aquisição de dados recebe informações dos fluxímetros 1 e 2 e do termopar a cada leitura programada. O calor é fornecido para a amostra por uma resistência aquecedora (placa quente), alimentada por uma fonte de corrente contínua (voltímetro) apresentando as seguintes leituras: 13,37 V e 0,23 A. A placa fria é ligada a um dispositivo de banho termostaticado, responsável em manter sua temperatura constante na faixa dos 20 °C.

O dispositivo de medição foi mantido sob pressão de $0,08 \text{ kgf/cm}^2$ durante os ensaios, através de um sistema basculante, com a finalidade de diminuir a resistência térmica de contato (figura 4.10).

Fluxímetros: tipo planares com dimensões de $100 \times 100 \times 0,3 \text{ mm}$

Resistência aquecedora: tipo planar com dimensões $100 \times 100 \times 0,15 \text{ mm}$.

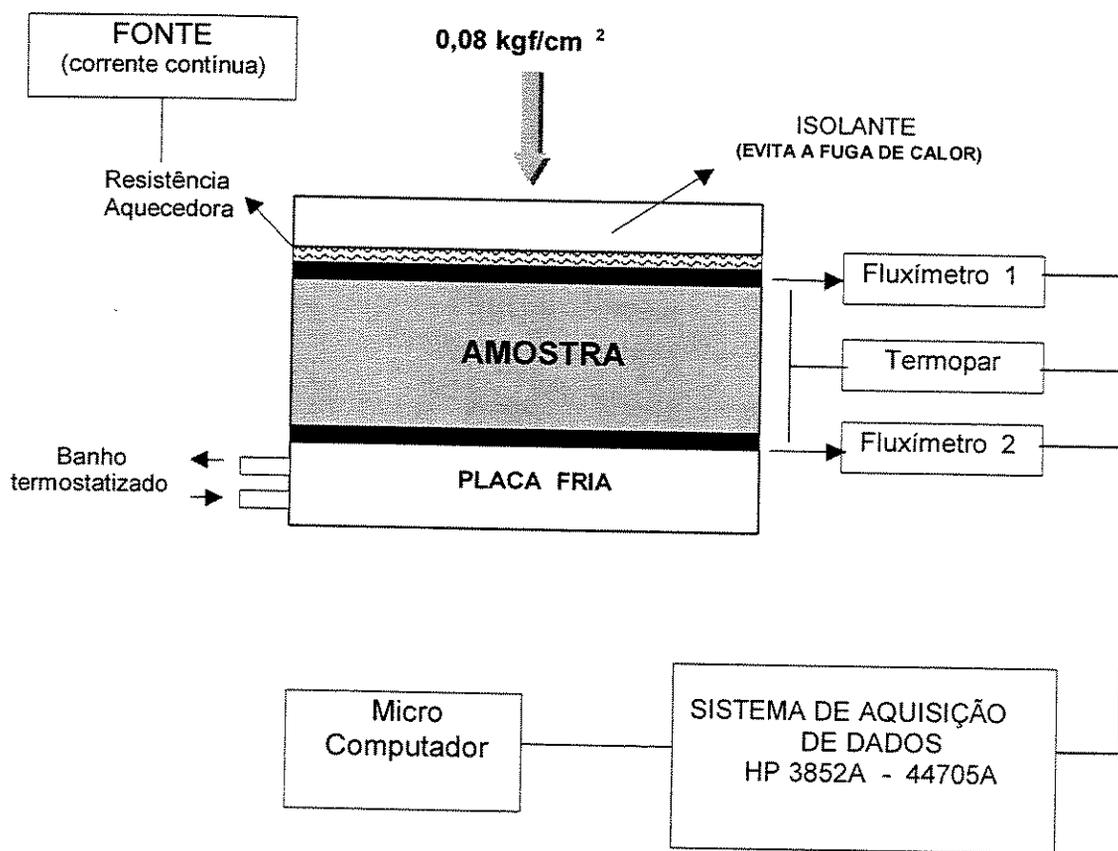


Figura 4.10 - Esquema geral do dispositivo experimental - Método Fluximétrico

Fluxímetro é formado por centenas de micro-termopares planares, ligados em série, que geram um sinal proporcional ao fluxo de calor que atravessa a amostra ($q = f \cdot V$).

Termopar significa par termoelétrico. Se dois fios condutores de metais diferentes estão em contato por uma extremidade e as outras extremidades encontram-se a diferentes temperaturas, será produzida uma tensão e, conseqüentemente, uma corrente elétrica. A tensão produzida é proporcional à diferença de temperatura. Assim, um sistema de ligação e calibração dos termopares permite a leitura de temperaturas.

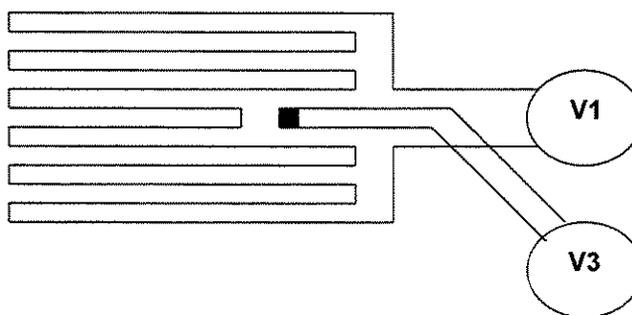


Figura 4.11 - Detalhe esquemático de um fluxímetro

Na figura 4.12, a área do fluxímetro responsável pela leitura corresponde à, aproximadamente, metade da área total do fluxímetro. Esta delimitação garante maior sensibilidade na determinação da condutividade térmica, uma vez que nesta região o fluxo térmico pode ser considerado constante, em concordância com o princípio de fluxo unidirecional proposto. Despreza-se, dessa maneira, as possíveis perdas de calor pelas laterais da amostra, provocadas pelo efeito de borda.

Observa-se na figura 4.13 que, tanto a leitura do fluxo de calor como a leitura das temperaturas, são determinadas pelos fluxímetros e pelo termopar, através da aquisição dos sinais correspondentes ao valor do potencial elétrico. Ou seja, durante a execução do ensaio, a aquisição dos sinais pelo termopar indica a diferença de temperatura entre as superfícies superior e inferior da amostra, num dado instante específico (V3). Simultaneamente, a aquisição de sinais pelos fluxímetros 1 e 2 indica a densidade de fluxo térmico (V1 e V2).

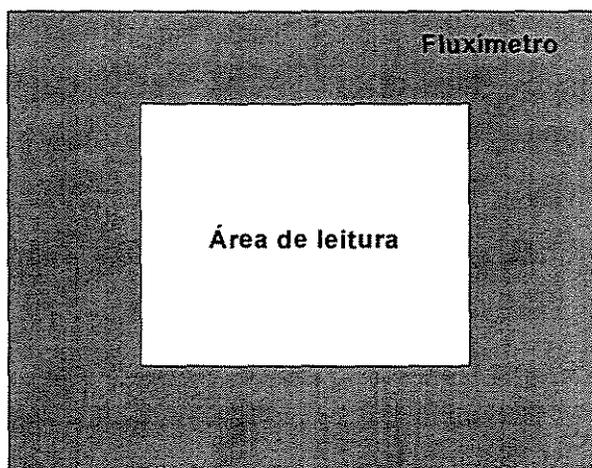


Figura 4.12 - Esquema em planta do fluxímetro - Área de leitura

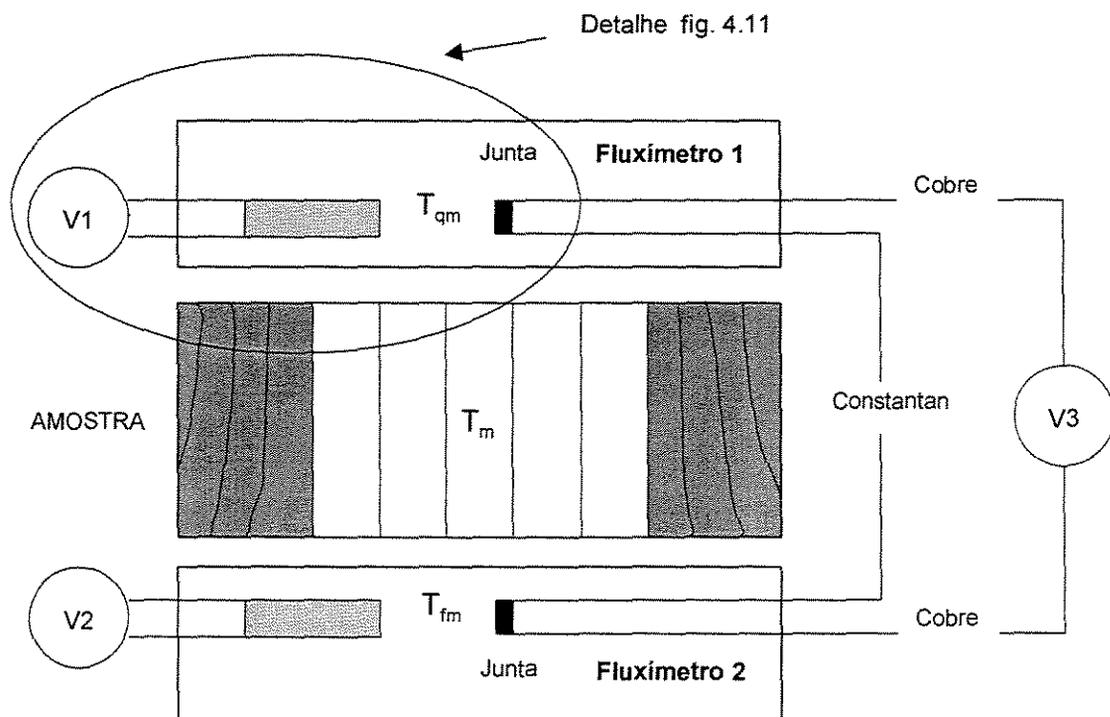


Figura 4.13 - Esquema em elevação do dispositivo de leitura de sinais dos fluxímetros e do termopar

No início de cada ensaio, é de fundamental importância verificar se o sistema oferece as condições necessárias para garantir o fluxo unidirecional, de acordo com o procedimento e normalização adotada:

1. Dispositivo experimental de medição (figura 4.10) em ambiente climatizado (temperatura e umidade relativa constante);
2. Sistema de aquisições de dados interligados com o micro e com os fluxímetros 1 e 2.;
3. Interligação da fonte de corrente contínua com a placa aquecedora;
4. Banho termostaticado na placa fria mantendo temperatura constante de 20 °C;
5. Montagem do dispositivo segundo a ordem apresentada nas figuras 4.5 e 4.6, acoplados em um sistema basculante:
 - Placa de isopor (evitar a fuga de calor da placa aquecedora)
 - Placa aquecedora
 - Fluxímetro 1
 - Amostra (corpo-de-prova a ser ensaiado)
 - Fluxímetro 2
 - Placa fria
6. Aplicação de uma pressão de 0,08 kgf/cm², através da colocação de um peso sobre o sistema basculante;
7. Leituras de acordo com o procedimento de medição normatizado, até que se considere que o sistema tenha alcançado o regime permanente.

Para o procedimento de medição descrito a seguir, foi elaborado um programa em linguagem Pascal, pelo Eng. Rodrigo Hoffmann Domingos, Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (1999).

Procedimento de medição

Anotações por seqüência de ensaio

- Temperaturas individuais (T_i), definindo a constante de calibração dos fluxímetros ;
- Leitura das tensões f.e.m. fornecidas pelos elementos fluximétricos e termopar ;
- Temperaturas individuais das faces quente e fria das amostras (T_{qi} e T_{fi}).

Cálculo dos parâmetros (Para cada amostra ensaiada)

- Constante de calibração (f_i) de cada fluxímetro e a densidade de fluxo médio (q''_m) ;
- Temperatura média das placas quente e fria (T_{qm} e T_{fm}) ;
- Temperatura média $T_m = (T_{qm} + T_{fm})/2$;
- Diferença de temperatura $\Delta T_m = (T_{qm} - T_{fm})$ entre as faces quente e fria .

Estabelecimento do regime permanente

- Considerou-se como intervalo de tempo de medição o menor tempo possível, correspondente a uma maior precisão obtida na leitura dos sinais elétricos proveniente do sistema de medição (fluxímetros e termopar), que na prática correspondeu a aproximadamente a $t=6$ s. O fenômeno se caracteriza de forma precisa através da análise gráfica em questão (verificação do coeficiente angular da reta tangente à curva de temperatura média em função do tempo).
- O alcance do regime estacionário é determinado pela estabilização da T_m da amostra. A T_m é medida numa determinada frequência (no caso em questão, equivalente a, aproximadamente, $1/6$ Hz), e quanto maior o período do ciclo de medição menor deve ser seu número de medidas sucessivas, sem a respectiva variação, indicando que o sistema alcançou o regime permanente. No programa, para efeito de encerramento da medição, não deve haver variação na medida de T_m , após um número de repetições equivalente a 6 vezes (limite do coeficiente angular da reta tangente à curva de temperatura média x tempo, tendendo a zero).
- Nenhuma medição individual do fluxo térmico pode diferir de ± 2 % da média do conjunto de medições consecutivas.

Expressão dos resultados

Com um mínimo de cinco seqüências sucessivas de medição, calculou-se:

- A densidade de fluxo térmico médio (q'') $\Rightarrow q'' = f_i \cdot V$;
- As temperaturas médias (T_q e T_f) das placas quente e fria, temperatura média (T_m) ;
- A diferença média de temperatura entre as faces (ΔT_m).

O cálculo da resistência térmica (R) foi feito pelo quociente entre a diferença de temperatura entre as faces da amostra (ΔT) e da densidade de fluxo térmico, segundo equação 2.3; a condutividade térmica (λ), pelo quociente entre a espessura térmica (e) e a resistência térmica (R), segundo a equação 4.4.

$$R = \frac{\Delta T}{q''} \quad (4.4)$$

onde,

R	=	resistência térmica ;	$(m^2.K/W)$
ΔT	=	diferença de temperatura entre as faces da amostra ;	(K)
q''	=	densidade de fluxo térmico.	(W/m^2)

$$\lambda = \frac{e}{R} \quad (4.5)$$

onde :

λ	=	condutividade térmica ;	(W/mK)
e	=	espessura da amostra ensaiada ;	(m)

5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Introdução

- Caracterização do agregado vegetal
 - Granulometria
 - Massa unitária estado seco e solto
 - Massa unitária estado seco e compactado
 - Inchamento/Expansão
 - Massa específica pelo frasco de Chapman e massa específica dos grãos
- Argamassa com agregado vegetal e convencional
 - Resistência mecânica à compressão e à tração na compressão diametral
 - Absorção de água por capilaridade
 - Condutividade térmica

Caracterização do agregado vegetal

Granulometria

A classificação granulométrica do agregado vegetal foi representada graficamente através da realização de três ensaios, especificando-se suas características, tais como o módulo de finura e diâmetro máximo característico. Duas amostras do agregado utilizado foram secas à umidade ambiente e uma outra em estufa a 80 °C, até constância de massa. A curva granulométrica do agregado nos três ensaios foi classificada como pertencente à zona média (zona 3), segundo a norma NBR7211⁶², apresentando uma variação de 0,13 no valor do módulo de finura para o material, de mesma procedência.

média de valores para umidade $w = 9,10\%$

Tabela 5.1 - Composição granulométrica “Ensaio I”

Dimensão máxima característica do agregado: 2,4 mm

Módulo de finura (MF): 2,56

Abertura Peneira (mm)	Agregado Retido (g)	Porcentagem retida (%)	
		Individual	acumulada
4,8	0	0	0
2,4	0,8	1	1
1,2	19,3	19	20
0,6	34,5	35	55
0,3	29,0	29	84
0,15	12,1	12	96
Fundo	4	4	100
Total	99,7	100	256

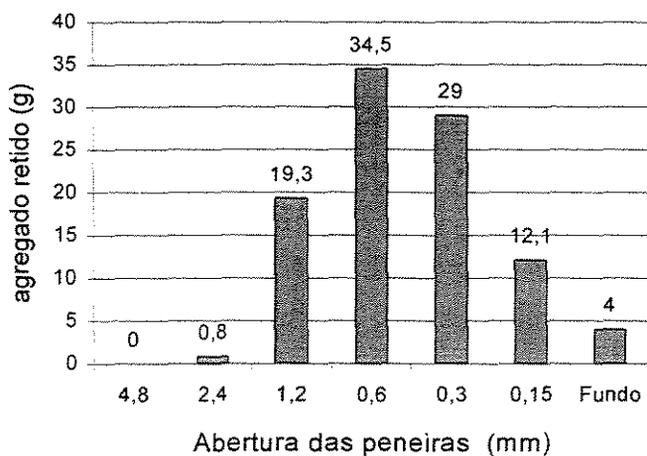


Figura 5.1

Quantidade retida em massa por peneira
Ensaio I

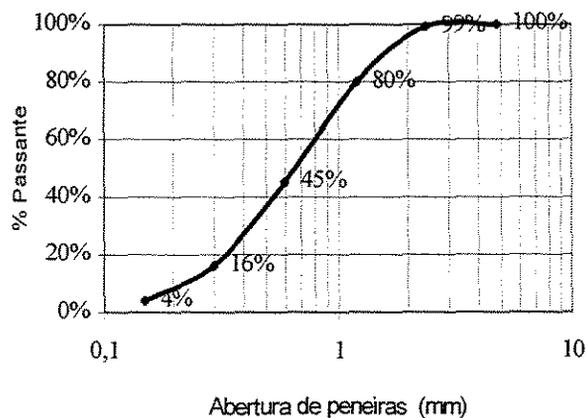


Figura 5.2

Granulometria do agregado vegetal
Ensaio I

média de valores para umidade $w = 8,70\%$

Tabela 5.2 - Composição granulométrica “Ensaio II”

Dimensão máxima característica do agregado: 2,4 mm

Módulo de finura (MF): 2,47

Abertura Peneira (mm)	Agregado Retido (g)	Porcentagem retida (%)	
		Individual	acumulada
4,8	0	0	0
2,4	1,3	1	1
1,2	15,5	16	17
0,6	34,7	35	52
0,3	30,4	30	82
0,15	123,2	13	95
Fundo	4,9	5	100
Total	100	100	247

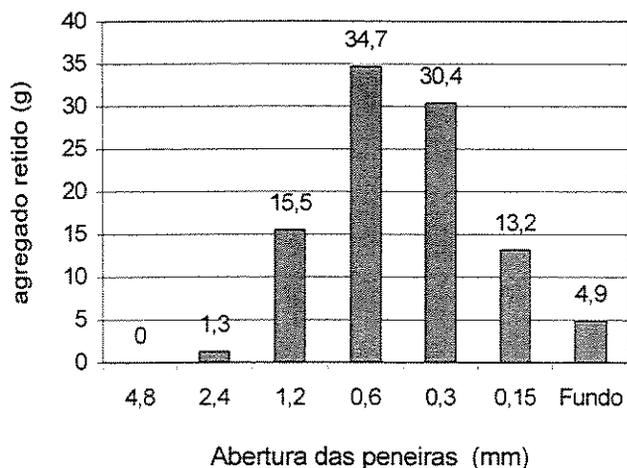


Figura 5.3

**Quantidade retida em massa por peneira
Ensaio II**

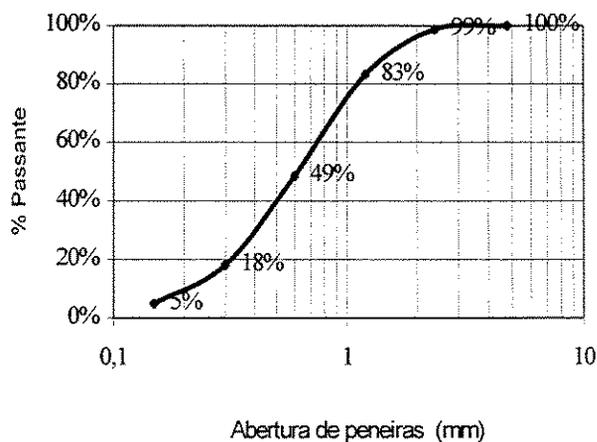


Figura 5.4

**Granulometria do agregado vegetal
Ensaio II**

valor de umidade $w = 0,00\%$ (seco em estufa a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Tabela 5.3 - Composição granulométrica “Ensaio III”

Dimensão máxima característica do agregado: 2,4 mm

Módulo de finura (MF): 2,60

Abertura Peneira (mm)	Agregado Retido (g)	Porcentagem retida (%)	
		Individual	acumulada
4,8	0	0	0
2,4	1,1	1	1
1,2	18,3	18	19
0,6	37,4	37	56
0,3	29,6	30	86
0,15	9,7	10	96
Fundo	3,9	4	100
Total	100	100	260

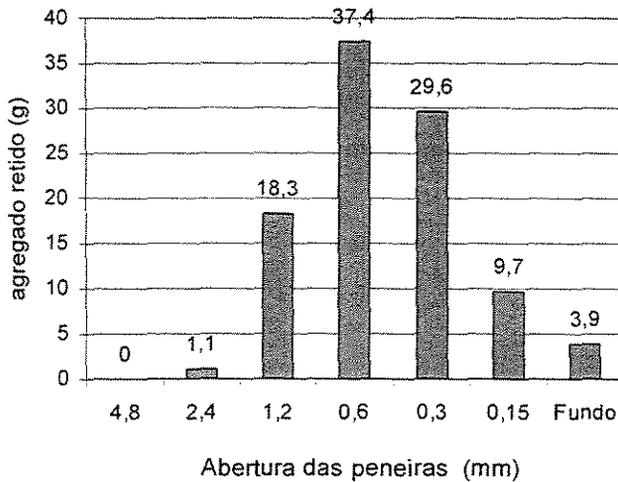


Figura 5.5

**Quantidade retida em massa por peneira
Ensaio III**

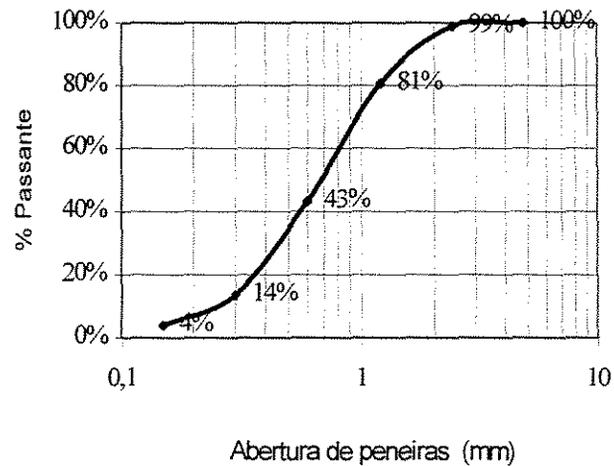


Figura 5.6

**Granulometria do agregado vegetal
Ensaio III**

Massa unitária estado seco e solto ; estado seco e compactado

O ensaio para determinação da massa unitária nos estado seco e solto ; estado seco e compactado apresentou resultados em conformação com as normas NBR7251⁶² e NBR7810⁶², obtendo-se com a repetição dos ensaios uma variação de até 0,86 % em relação ao valor médio das massas unitárias, satisfazendo a exigência fixada por norma, em até 1 % da variação dos resultados individuais em relação ao valor médio determinado.

Tabela 5.4 - Massa unitária no estado seco/solto e seco/compactado

AMOSTRA Agregado Vegetal		Massa da amostra (kg)		Massa unitária	
		Estado seco e solto NBR7251/1982	Estado seco e compactado NBR7810/1983	(kg/m ³)	
				seco e solto (γ_{ss})	Seco e compactado (γ_{sc})
Teor umidade w = 9,10%	P ₁	4,65	7,56	233	252
	P ₂	4,65	7,55	233	252
	P ₃	4,60	7,47	230	249
	\bar{P}_u	4,63	7,53	232	251
Seco	\bar{P}_s	4,21	6,84	210	228

Massa unitária do agregado vegetal:

- Estado seco e solto $\Rightarrow \gamma_{ss} = 210,0 \text{ kg/m}^3$
- Estado seco e compactado $\Rightarrow \gamma_{sc} = 228,0 \text{ kg/m}^3$

Observou-se uma pequena variação no valor da massa unitária após a compactação. Os valores determinados para massa unitária foram utilizados na dosagem para a formação dos diversos traços da argamassa leve.

Inchamento / Expansão do agregado vegetal

Tabela 5.5 - Ensaio de inchamento / expansão “Ensaio I”

Número de ordem	Massa do agregado (g)	Incremento de água (g)	γ_a (kg/dm ³)	Sobra de Material (g)	w_a (%)	Inchamento (%)
0	1	2	3	4	5	6
			coluna 1 ÷ Volume (Vol. = 30 dm ³)		$\frac{\gamma_a \text{ úmido} - \gamma_a \text{ seco}}{\gamma_a \text{ seco}} \times 100$	coluna 4 ÷ coluna 1
Seco	672,0	0	0,224	0	0	0
01	743,8	71,8	0,248	0	9,70	0
02	786,0	100	0,262	55,0	17,00	7,0
03	808,5	200	0,269	125,3	20,10	15,5
04	855,0	300	0,285	170,8	27,20	20,0
05	914,2	400	0,304	202,7	35,70	22,2
06	961,0	500	0,320	247,8	42,90	25,8
07	988,3	700	0,329	252,3	46,90	25,5
08	1211,0	800	0,403	264,3	79,90	21,8

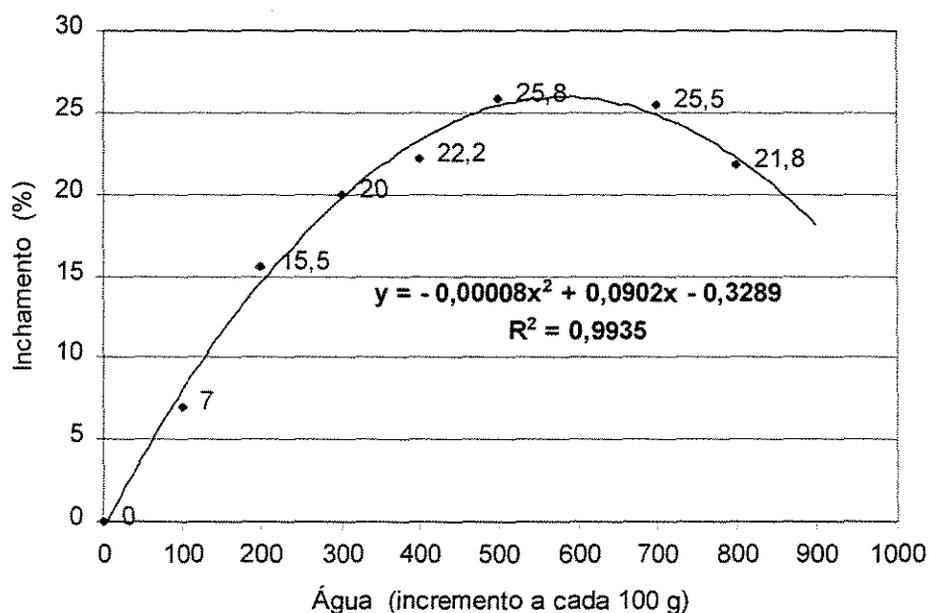


Figura 5.7 - Inchamento/Expansão em função do incremento de água “Ensaio I”

Tabela 5.6 - Ensaio de inchamento / expansão “Ensaio II”

Número de ordem	Massa do agregado (g)	Incremento de água (g)	γ_a (kg/dm ³)	Sobra de Material (g)	w_a (%)	Inchamento (%)
Seco	752,3	0	0,241	0	0	0
01	812,5	87,2	0,271	0	10,70	0
02	830,8	100	0,277	76,7	14,53	9,2
03	873,1	200	0,291	128,9	20,33	14,8
04	897,4	300	0,299	199,4	23,70	22,2
05	950,1	400	0,316	241,6	31,00	25,4
06	1012,5	500	0,337	273,8	39,60	27,0
07	1081,6	600	0,360	298,6	49,11	27,6
08	1154,4	700	0,384	317,6	59,13	27,5
09	1230,8	800	0,410	333,4	68,65	27,1
10	1304,0	900	0,434	351,4	79,75	26,9

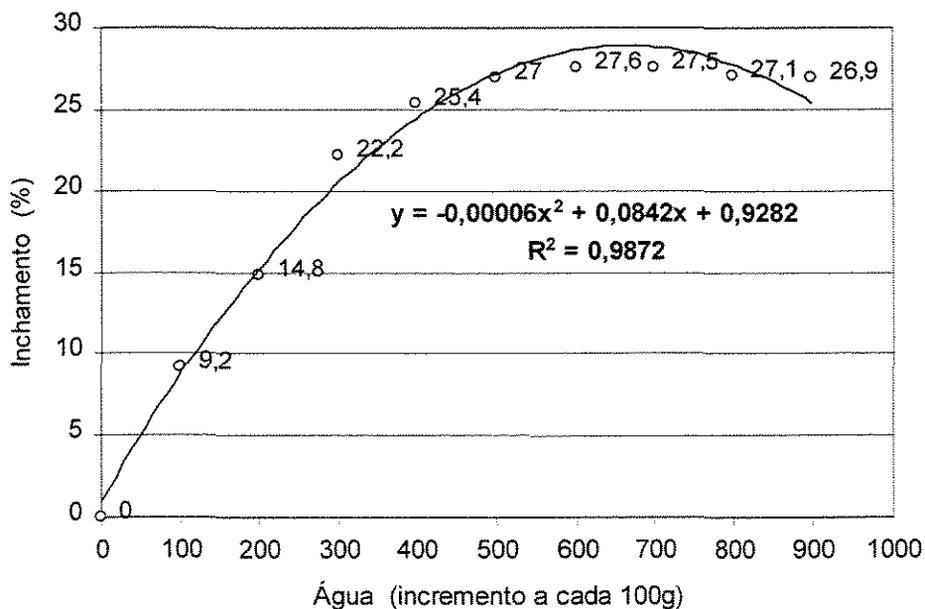


Figura 5.8 - Inchamento/Expansão em função do incremento de água “Ensaio II”

Tabela 5.7 - Ensaio de inchamento / expansão “Ensaio III”

Número de ordem	Massa do agregado (g)	Incremento de água (g)	γ_a (kg/dm ³)	Sobra de Material (g)	w_a (%)	Inchamento (%)
Seco	719,8	0	0,240	0	0	0
01	801,9	82,1	0,267	0	10,20	0
02	817,0	100	0,287	79,6	13,33	9,7
03	861,6	200	0,301	127,8	19,60	14,8
04	902,7	300	0,301	180,3	25,20	20,0
05	944,6	400	0,314	231,4	31,00	24,5
06	1006,2	500	0,335	261,8	39,60	26,0
07	1098,2	600	0,366	310,7	52,33	28,3
08	1200,9	700	0,400	344,7	66,67	28,7
09	1274,5	900	0,424	361,2	76,80	28,3

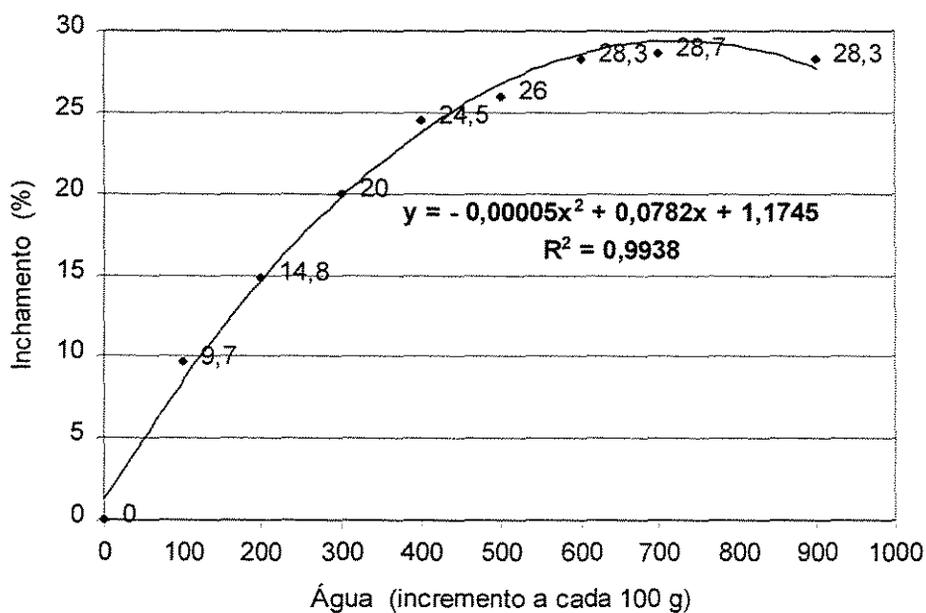


Figura 5.9 - Inchamento/Expansão em função do incremento de água “Ensaio III”

**Determinação da massa específica do agregado vegetal pelo
Frasco de Chapman e pela Massa específica dos grãos**

Tabela 5.8 - Leitura dos ensaios de massa específica - Frasco de Chapman

Leitura (cm ³)			Massa específica (g/cm ³)
15/09	L1	408	1,293
	L2	407	1,316
16/09	L1	403	1,415
	L2	402	1,442
17/09	L1	408	1,415
	L2	407	1,442

O valor da massa específica aparente média é $\gamma_a = 1428,50 \text{ kg/m}^3$

Tabela 5.9 - Ensaio para determinação da massa específica dos grãos

W_d = massa da amostra do agregado miúdo

W_1 = massa do balão volumétrico + álcool

W_2 = massa do balão volumétrico + álcool + agregado vegetal

Ensaio N°	1	2
Picnômetro N°	01	02
Volume nominal - 20 °C - (ml)	500	500
Temperatura (°C)	24	24
W_1 (g)	585,47	587,5
W_d (g)	20,00	19,95
$W_1 + W_d$ (g)	605,47	587,45
W_2 (g)	597,31	579,28
$W_1 + W_d - W_2$ (g)	8,16	8,17
γ_a (g/cm ³)	2450	2440
γ_a (g/cm ³) à 20 °C	1837	1830
$\gamma_{\text{álcool}} = 0,750 \text{ g/cm}^3$	$\gamma_a = 1,833 \text{ g/cm}^3$	

O valor da massa específica aparente média é $\gamma_a = 1833,00 \text{ kg/m}^3$

Argamassa com agregado vegetal e convencional

Resistência mecânica à compressão e à tração na compressão diametral

Tabela 5.10 - Resistência à compressão da argamassa com agregado vegetal para os traços 1 : 0,4 : X (X = água)

Traço (cimento : agregado : água) vegetal	Resistência à compressão "fck" (MPa)		Massa Específica Aparente (kg/m ³)	
	CPV-ARI classe 32 14 dias	CPII-E classe 32 28 dias	CPV-ARI	CPII-E 32
1 : 0,4 : 0,84	Cp1	8,96	1209 ^{24%} 974 _{seco}	1120 ^{15,7%} 968 _{seco}
	Cp2	8,91		
	Cp3	8,71		
	\overline{fck}	8,86		
1 : 0,4 : 0,91	Cp1	7,38	1163 ^{21,5%} 957 _{seco}	-
	Cp2	7,25		
	Cp3	7,28		
	\overline{fck}	7,30		
1 : 0,4 : 1,00	Cp1	7,23	1107 ^{21,6%} 910 _{seco}	998 ^{12,8%} 885 _{seco}
	Cp2	7,21		
	Cp3	7,22		
	\overline{fck}	7,22		
1 : 0,4 : 1,10	Cp1	5,10	1054 ^{24,7%} 845 _{seco}	-
	Cp2	4,71		
	Cp3	4,84		
	\overline{fck}	4,88		
1 : 0,4 : 1,18	Cp1	3,57	1021 ^{24,8%} 818 _{seco}	873 ^{11,9%} 780 _{seco}
	Cp2	3,82		
	Cp3	3,71		
	\overline{fck}	3,70		
1 : 0,4 : 1,36	Cp1	3,52	1037 ^{30%} 796 _{seco}	825 ^{6,5%} 775 _{seco}
	Cp2	3,10		
	Cp3	3,35		
	\overline{fck}	3,32		

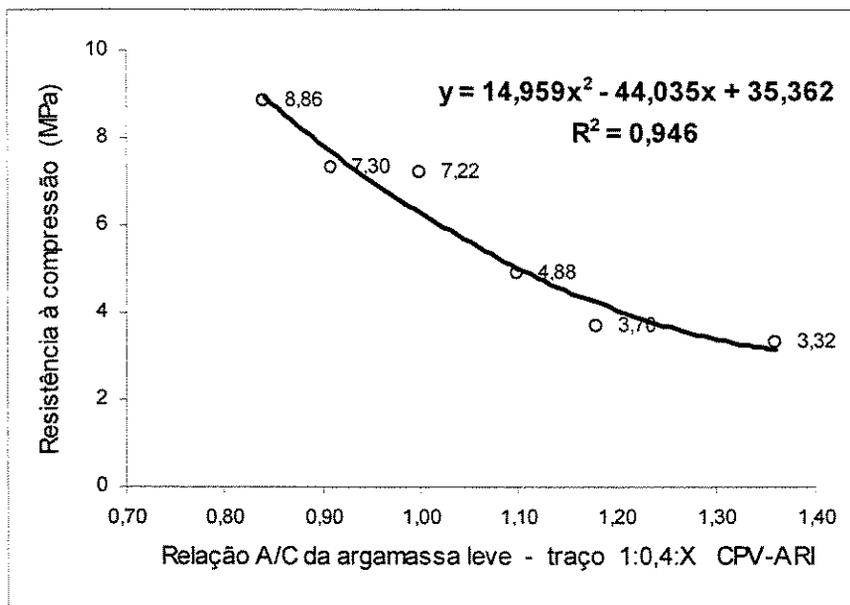


Figura 5.10 - Resistência à compressão x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - traço 1 : 0,4 : X CPV-ARI

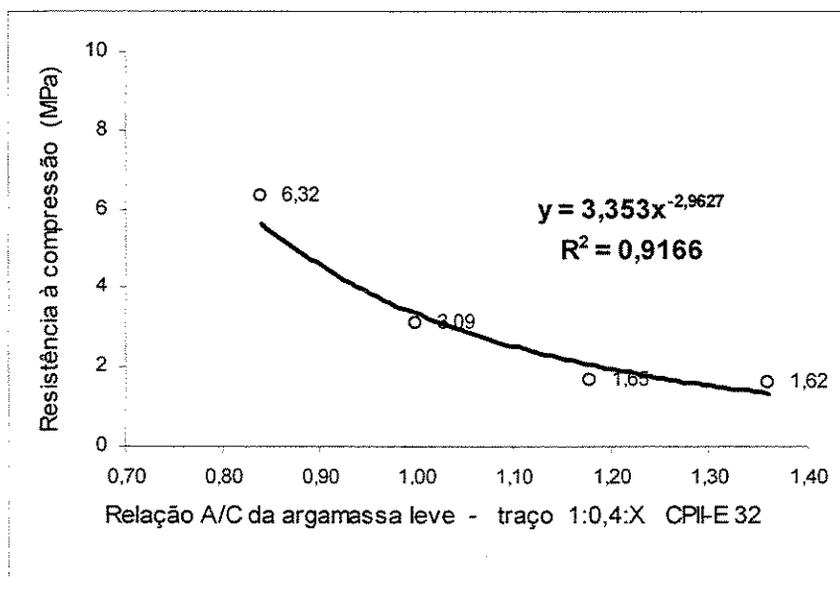


Figura 5.11 - Resistência à compressão x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,4 : X CPII-E 32

Tabela 5.11 - Resistência à compressão da argamassa com agregado vegetal para os traços 1 : 0,6 : X (X = água)

Traço (cimento : agregado : água) vegetal	Resistência à compressão "fck" (MPa)		Massa Específica Aparente (kg/m ³)		
	CPV-ARI classe 32 14 dias	CPII-E classe 32 28 dias	CPV-ARI	CPII-E 32	
1 : 0,6 : 1,28	Cp1	4,38	2,57	1004 ^{23,8%} 811 _{seco}	918 ^{19,4%} 769 _{seco}
	Cp2	4,35	2,80		
	Cp3	4,38	2,57		
	\overline{fck}	4,37	2,65		
1 : 0,6 : 1,31	Cp1	3,18	-	1032 ^{31,8%} 783 _{seco}	-
	Cp2	3,57	-		
	Cp3	3,44	-		
	\overline{fck}	3,40	-		
1 : 0,6 : 1,35	Cp1	2,93	1,78	1012 ^{31,6%} 769 _{seco}	870 ^{16,8%} 745 _{seco}
	Cp2	3,31	1,66		
	Cp3	3,15	1,71		
	\overline{fck}	3,13	1,72		
1 : 0,6 : 1,38	Cp1	2,93	-	985 ^{30,5%} 755 _{seco}	-
	Cp2	2,80	-		
	Cp3	2,83	-		
	\overline{fck}	2,85	-		
1 : 0,6 : 1,42	Cp1	2,55	1,47	934 ^{24,9%} 748 _{seco}	853 ^{16,2%} 734 _{seco}
	Cp2	2,55	1,47		
	Cp3	2,45	1,50		
	\overline{fck}	2,52	1,48		
1 : 0,6 : 1,50	Cp1	2,43	1,41	916 ^{25%} 732 _{seco}	850 ^{16,8%} 728 _{seco}
	Cp2	2,25	1,37		
	Cp3	2,37	1,34		
	\overline{fck}	2,35	1,37		

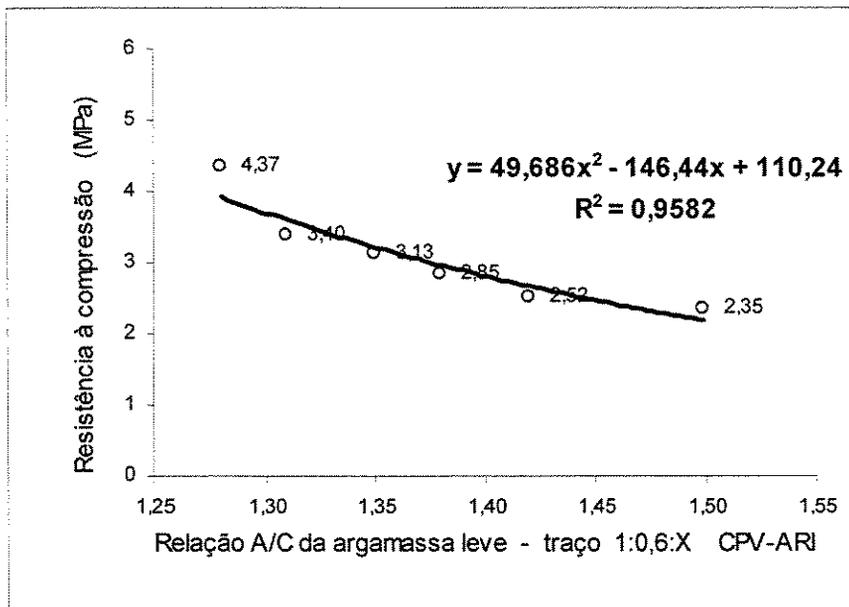


Figura 5.12 - Resistência à compressão x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,6 : X CPV-ARI

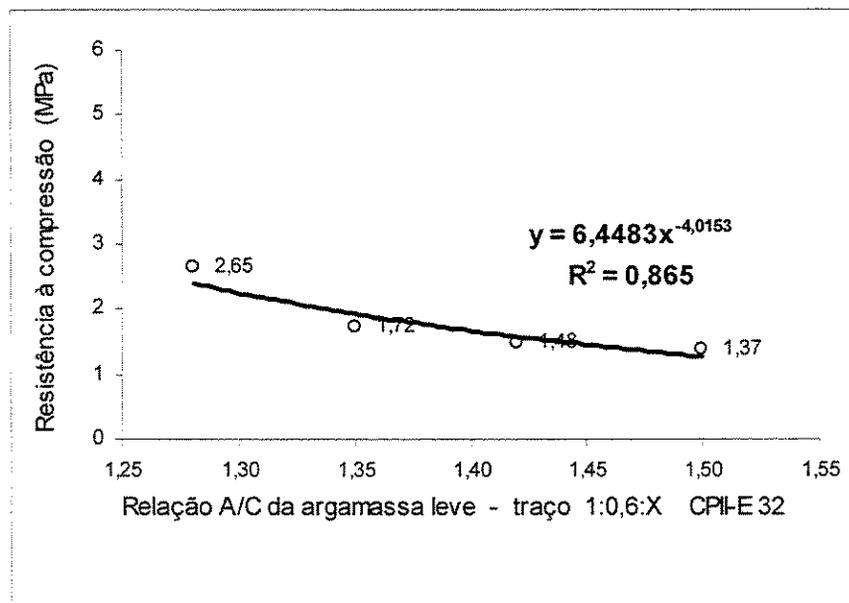


Figura 5.13 - Resistência à compressão x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,6 : X CPII-E 32

Tabela 5.12 - Resistência à tração da argamassa com agregado vegetal para os traços 1 : 0,4 : X (X = água)

Traço (cimento : agregado : água) vegetal	Resistência à tração "ftk" (MPa)		Massa Específica Aparente (kg/m ³)		
	CPV-ARI classe 32 14 dias	CPII-E classe 32 28 dias	CPV-ARI	CPII-E 32	
	Cp1	Cp2	Cp3	\overline{ftk}	
1 : 0,4 : 0,84	Cp1	1,52	1,24		
	Cp2	1,38	1,08		
	Cp3	1,32	1,15		
	\overline{ftk}	1,41	1,16		
				1209 ^{24%} 974 ^{seco}	1120 ^{15,7%} 968 ^{seco}
1 : 0,4 : 0,91	Cp1	0,91	-		
	Cp2	0,92	-		
	Cp3	0,89	-		
	\overline{ftk}	0,91	-		
				1163 ^{21,5%} 957 ^{seco}	-
1 : 0,4 : 1,00	Cp1	0,80	0,42		
	Cp2	0,80	0,50		
	Cp3	0,83	0,47		
	\overline{ftk}	0,81	0,46		
				1107 ^{21,6%} 910 ^{seco}	998 ^{12,8%} 885 ^{seco}
1 : 0,4 : 1,10	Cp1	0,62	-		
	Cp2	0,60	-		
	Cp3	0,57	-		
	\overline{ftk}	0,60	-		
				1054 ^{24,7%} 845 ^{seco}	-
1 : 0,4 : 1,18	Cp1	0,48	0,32		
	Cp2	0,48	0,30		
	Cp3	0,46	0,30		
	\overline{ftk}	0,47	0,31		
				1021 ^{24,8%} 818 ^{seco}	873 ^{11,9%} 780 ^{seco}
1 : 0,4 : 1,36	Cp1	0,44	0,25		
	Cp2	0,34	0,25		
	Cp3	0,35	0,24		
	\overline{ftk}	0,38	0,25		
				1037 ^{30%} 796 ^{seco}	825 ^{6,5%} 775 ^{seco}

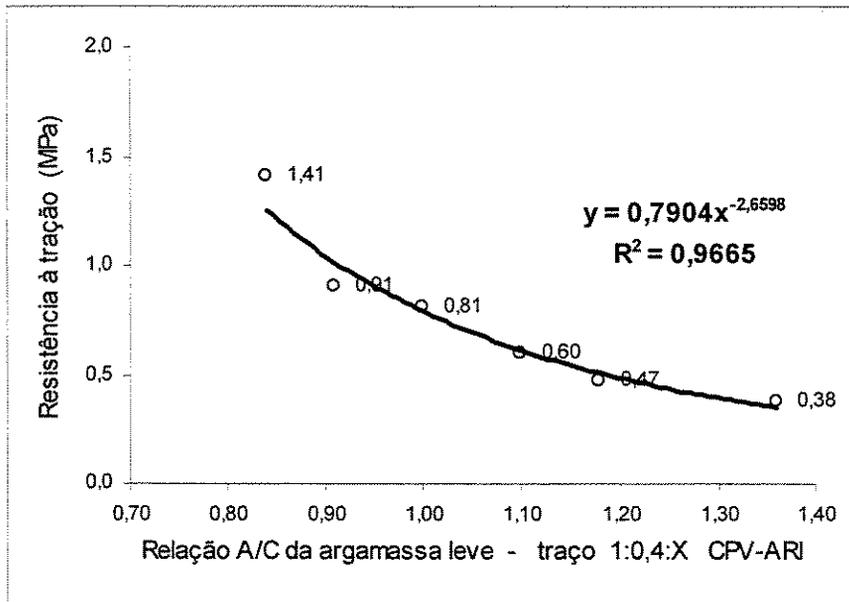


Figura 5.14 - Resistência à tração x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,4 : X CPV-ARI

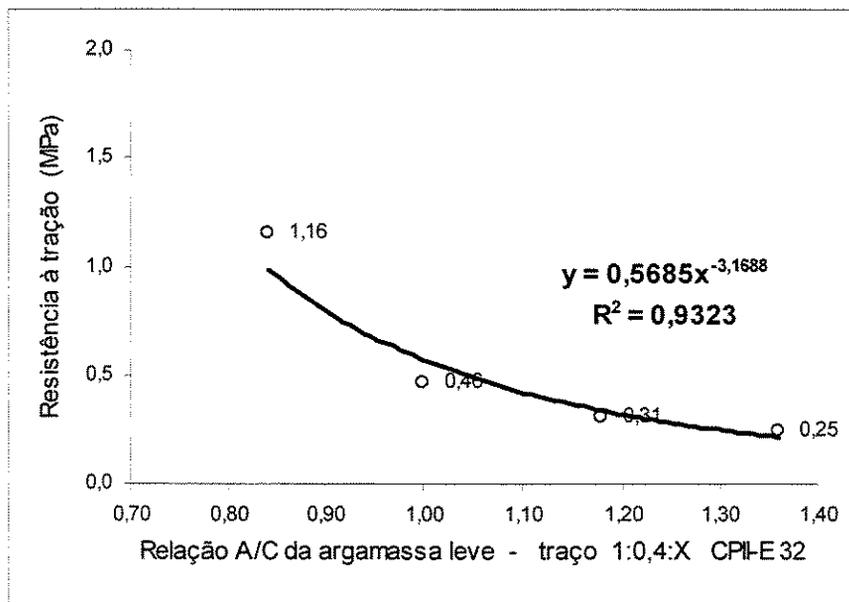


Figura 5.15 - Resistência à tração x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,4 : X CPII-E 32

Tabela 5.13 - Resistência à tração da argamassa com agregado vegetal para os traços 1 : 0,6 : X (X = água)

Traço (cimento : agregado : água) vegetal	Resistência à tração “ftk” (MPa)		Massa Específica Aparente (kg/m ³)		
	CPV-ARI classe 32 14 dias	CPII-E classe 32 28 dias	CPV-ARI	CPII-E 32	
1 : 0,6 : 1,28	Cp1	0,68	0,48	1004 ^{23,8%} 811 ^{seco}	918 ^{19,4%} 769 ^{seco}
	Cp2	0,67	0,46		
	Cp3	0,68	0,41		
	\overline{ftk}	0,68	0,45		
1 : 0,6 : 1,31	Cp1	0,51	-	1032 ^{31,8%} 783 ^{seco}	-
	Cp2	0,53	-		
	Cp3	0,55	-		
	\overline{ftk}	0,53	-		
1 : 0,6 : 1,35	Cp1	0,49	0,41	1012 ^{31,6%} 769 ^{seco}	870 ^{16,8%} 745 ^{seco}
	Cp2	0,50	0,38		
	Cp3	0,49	0,36		
	\overline{ftk}	0,49	0,38		
1 : 0,6 : 1,38	Cp1	0,47	-	985 ^{30,5%} 755 ^{seco}	-
	Cp2	0,49	-		
	Cp3	0,45	-		
	\overline{ftk}	0,47	-		
1 : 0,6 : 1,42	Cp1	0,43	0,33	934 ^{24,9%} 748 ^{seco}	853 ^{16,2%} 734 ^{seco}
	Cp2	0,40	0,36		
	Cp3	0,40	0,33		
	\overline{ftk}	0,41	0,34		
1 : 0,6 : 1,50	Cp1	0,38	0,32	916 ^{25%} 732 ^{seco}	850 ^{16,8%} 728 ^{seco}
	Cp2	0,38	0,31		
	Cp3	0,36	0,29		
	\overline{ftk}	0,37	0,31		

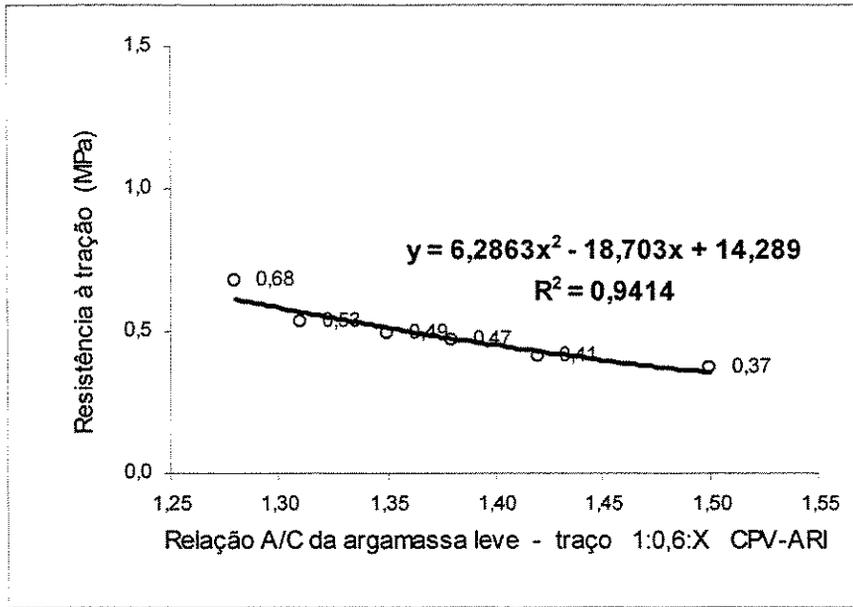


Figura 5.16 - Resistência à tração x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,6 : X CPV-ARI

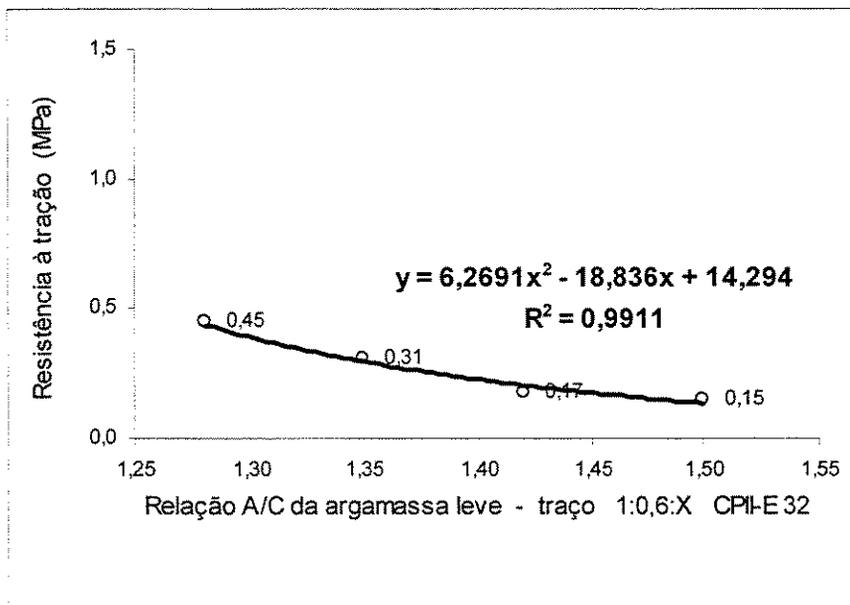


Figura 5.17 - Resistência à tração x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,6 : X CPII-E 32

Absorção de água por capilaridade

Tabela 5.14 - Massa de água absorvida em argamassa com agregado vegetal no intervalo de 24 horas - cimento CPV-ARI

Argamassa com agregado vegetal - Cimento Portland CPV - ARI												
IDADE: 14 dias LEITURA DAS MASSAS	TRAÇO EM MASSA											
	1 : 0,4 : 0,84			1 : 0,4 : 1,36			1 : 0,6 : 1,28			1 : 0,6 : 1,50		
	Valor médio da massa do corpo-de-prova - Cp _m (g)											
	Cp _m	A _c	%	Cp _m	A _c	%	Cp _m	A _c	%	Cp _m	A _c	%
Inicial	200,40	0,00	-	163,45	0,00	-	161,90	0,00	-	144,95	0,00	-
5 min	201,60	1,20	0,60	165,15	1,70	1,04	164,60	2,70	1,67	148,05	3,10	2,14
10 min	201,90	1,50	0,75	165,80	2,35	1,44	165,00	3,10	1,91	148,50	3,55	2,45
15 min	202,10	1,70	0,85	166,10	2,65	1,62	165,35	3,45	2,13	148,85	3,90	2,69
30 min	202,55	2,15	1,07	167,20	3,75	2,29	165,95	4,05	2,50	149,55	4,60	3,17
45 min	202,95	2,55	1,27	168,10	4,65	2,84	166,40	4,50	2,78	150,15	5,20	3,59
1 h	203,20	2,80	1,40	168,85	5,40	3,30	166,90	5,00	3,09	150,80	5,85	4,04
2 h	204,00	3,60	1,80	171,75	8,30	5,08	168,50	6,60	4,08	152,75	7,80	5,38
3 h	204,75	4,35	2,17	173,85	10,40	6,36	169,65	7,75	4,79	154,50	9,55	6,59
4 h	205,20	4,80	2,40	175,70	12,25	7,49	170,65	8,15	5,03	156,10	11,15	7,69
6 h	205,95	5,55	2,77	178,05	14,60	8,93	172,05	10,15	6,27	158,65	13,70	9,45
24 h	208,70	8,30	4,14	185,40	21,95	13,43	176,55	14,65	9,05	166,40	21,45	14,80
Altura média de Penetração (cm)	1,00			1,75			1,55			2,25		

OBS: A_c - massa de água absorvida acumulada

Tabela 5.15 - Raiz quadrada do tempo x absorção em argamassa com agregado vegetal CPV-ARI

$\sqrt{\text{Tempo}} (\sqrt{h})$	1 : 0,4 : 0,84	1 : 0,4 : 1,36	1 : 0,6 : 1,28	1 : 0,6 : 1,50
	Absorção de água por capilaridade (kg/m ²)			
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
0,29	0,611	0,866	1,375	1,579
0,41	0,764	1,197	1,579	1,808
0,50	0,866	1,350	1,757	1,986
0,71	1,095	1,910	2,063	2,343
0,87	1,299	2,368	2,292	2,648
1,00	1,426	2,750	2,546	2,979
1,41	1,833	4,227	3,361	3,972
1,73	2,215	5,297	3,947	4,864
2,00	2,445	6,239	4,456	5,679
2,45	2,827	7,436	5,169	6,977
4,90	3,616	10,313	6,086	9,346

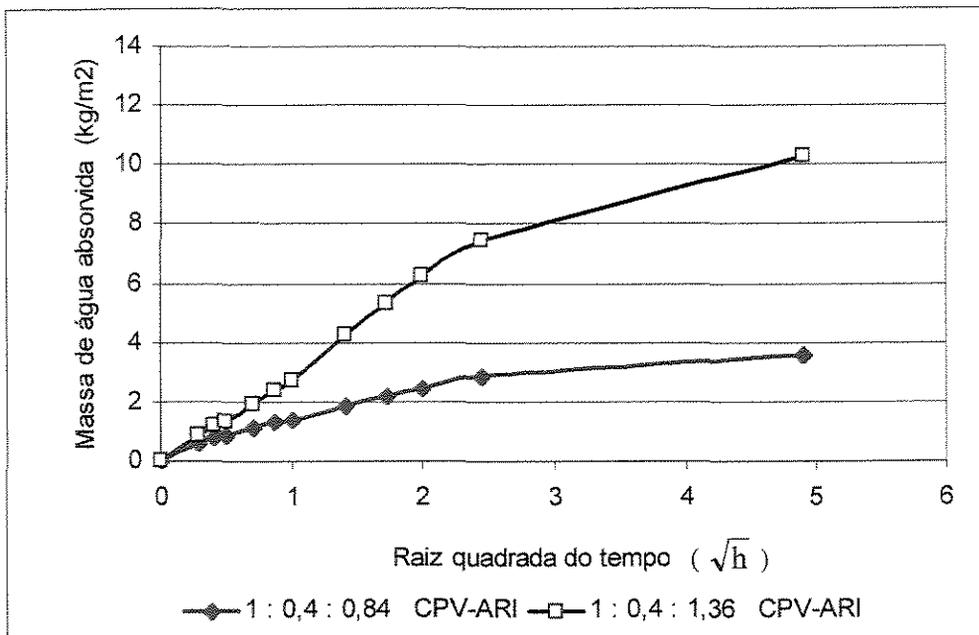


Figura 5.18 - Massa de água absorvida x raiz quadrada do tempo da argamassa leve com agregado vegetal traços 1:0,4:0,84 e 1:0,4:1,36 - CPV-ARI

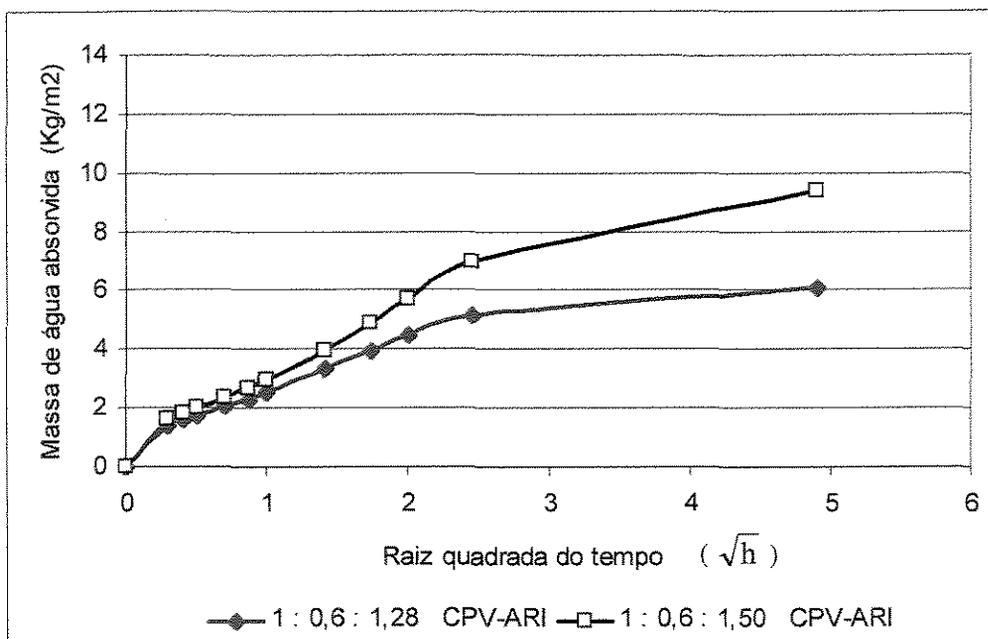


Figura 5.19 - Massa de água absorvida x raiz quadrada do tempo da argamassa leve com agregado vegetal traços 1:0,6:1,28 e 1:0,6:1,50 - CPV-ARI

Tabela 5.16 - Massa de água absorvida em argamassa com agregado vegetal no intervalo de 24 horas - cimento CII-E 32

Argamassa com agregado vegetal - Cimento Portland CII-E 32												
IDADE: 14 dias	TRAÇO EM MASSA											
LEITURA DAS MASSAS	1 : 0,4 : 0,84			1 : 0,4 : 1,36			1 : 0,6 : 1,28			1 : 0,6 : 1,50		
	Valor médio da massa do corpo-de-prova - C_{p_m} (g)											
	C_{p_m}	A_c	%	C_{p_m}	A_c	%	C_{p_m}	A_c	%	C_{p_m}	A_c	%
Inicial	200,05	0,00	-	151,60	0,00	-	169,05	0,00	-	158,75	0,00	-
5 min	202,30	2,25	1,12	157,35	5,75	3,79	172,45	3,40	2,01	165,60	6,85	4,31
10 min	202,65	2,60	1,30	158,05	6,45	4,25	172,80	3,75	2,22	166,10	7,35	4,63
15 min	202,90	2,85	1,42	158,55	6,95	4,58	173,05	4,00	2,37	166,40	7,65	4,82
30 min	203,30	3,25	1,62	159,65	8,05	5,31	173,50	4,45	2,63	166,95	8,20	5,17
45 min	203,75	3,70	1,85	160,25	8,65	5,70	173,85	4,80	2,84	167,30	8,55	5,39
1 h	204,10	4,05	2,02	160,65	9,05	5,97	174,05	5,00	2,96	167,65	8,90	5,61
2 h	205,25	5,20	2,60	161,85	10,25	6,76	174,85	5,80	3,43	168,40	9,65	6,08
3 h	206,80	6,75	3,37	163,40	11,80	7,78	175,50	6,45	3,82	169,10	10,35	6,52
4 h	207,25	7,20	3,60	165,15	13,55	8,93	176,15	7,10	4,20	169,65	10,90	6,87
6 h	208,90	8,85	4,42	167,90	16,30	10,75	177,30	8,25	4,88	170,50	11,75	7,40
24 h	217,35	17,30	8,65	183,40	31,80	20,98	184,00	14,95	8,84	181,65	22,90	14,43
Altura média de Penetração (cm)	2,75			4,75			2,25			1,75		

OBS: A_c - massa de água absorvida acumulada

Tabela 5.17 - Raiz quadrada do tempo x absorção em argamassa com agregado vegetal CII-E 32

$\sqrt{\text{Tempo}} (\sqrt{h})$	1 : 0,4 : 0,84	1 : 0,4 : 1,36	1 : 0,6 : 1,28	1 : 0,6 : 1,50
	Absorção de água por capilaridade (kg/m^3)			
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
0,29	1,146	2,928	1,732	3,489
0,41	1,324	3,285	1,910	3,743
0,50	1,451	3,540	2,037	3,896
0,71	1,655	4,100	2,266	4,176
0,87	1,884	4,405	2,445	4,354
1,00	2,063	4,609	2,546	4,533
1,41	2,648	5,220	2,954	4,915
1,73	3,438	6,010	3,285	5,271
2,00	3,667	6,901	3,616	5,551
2,45	4,507	8,302	4,202	5,984
4,90	7,665	13,267	5,882	8,174

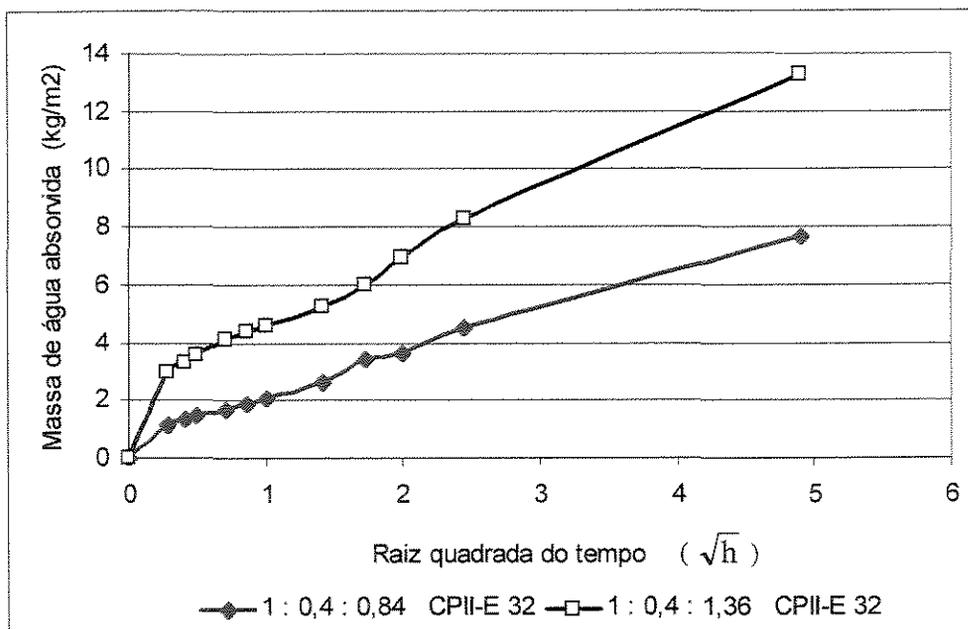


Figura 5.20 - Massa de água absorvida x raiz quadrada do tempo da argamassa leve com agregado vegetal traços 1:0,4:0,84 e 1:0,4:1,36 - CPII-E 32

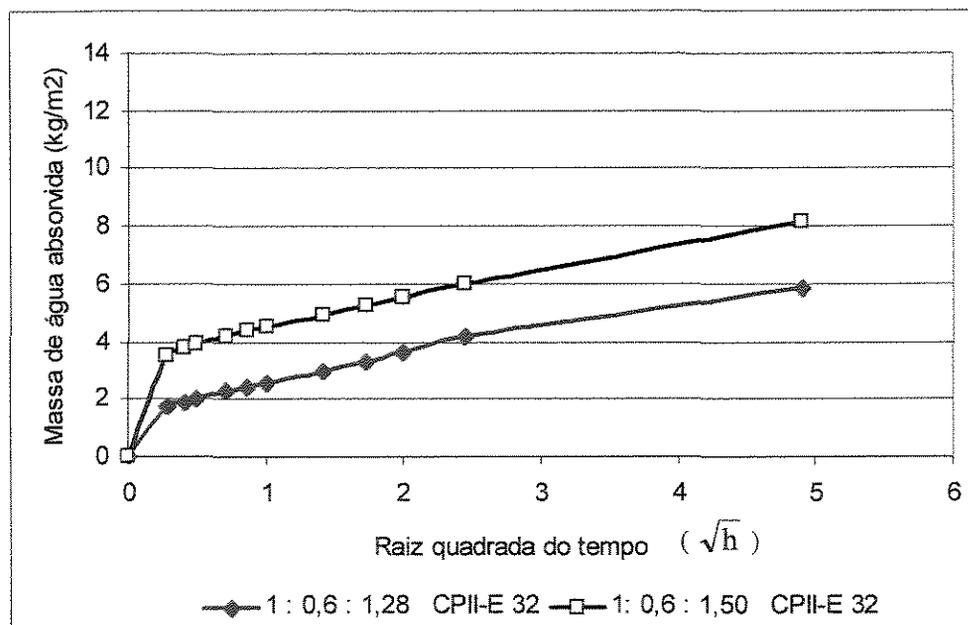


Figura 5.21 - Massa de água absorvida x raiz quadrada do tempo da argamassa leve com agregado vegetal traços 1:0,6:1,28 e 1:0,6:1,50 - CPII-E 32

Argamassa convencional

Tabela 5.18 - Massa de água absorvida em argamassa convencional no intervalo de 24 horas - cimento CII-E 32

Argamassa com agregado convencional Cimento Portland CII-E 32									
IDADE 14 dias	TRAÇO EM MASSA								
LEITURA DAS MASSAS	Fina quartzosa 1 : 3 : 0,80			Média quartzosa 1 : 3 : 0,63			Fina siltosa 1 : 3 : 0,62		
	Valor médio da massa do corpo-de-prova - C _p m (g)								
	C _p m	A _c	%	C _p m	A _c	%	C _p m	A _c	%
inicial	392,00	0,00	-	359,60	0,00	-	378,10	0,00	-
5 min	393,40	1,40	0,36	361,30	1,70	0,47	379,20	1,10	0,29
10 min	393,80	1,80	0,46	361,70	2,10	0,58	379,60	1,50	0,40
15 min	394,20	2,20	0,56	362,20	2,60	0,72	379,90	1,80	0,48
30 min	394,90	2,90	0,74	362,90	3,30	0,92	380,40	2,30	0,61
45 min	395,50	3,50	0,89	363,50	3,90	1,08	380,90	2,80	0,74
1 h	396,00	4,00	1,02	364,10	4,50	1,25	381,40	3,30	0,87
2 h	397,60	5,60	1,43	365,70	6,10	1,70	382,60	4,50	1,19
3 h	398,80	6,80	1,73	366,90	7,30	2,03	383,60	5,50	1,45
4 h	400,00	8,00	2,04	368,00	8,40	2,34	384,40	6,30	1,67
6 h	401,60	9,60	2,45	369,60	10,00	2,78	385,60	7,50	1,98
24 h	409,70	17,70	4,52	377,00	17,4	4,84	391,60	13,50	3,57
Altura média de Penetração (cm)	5,50			4,20			5,00		

Tabela 5.19 - Raiz quadrada do tempo x absorção - argamassa convencional CII-E 32

$\sqrt{\text{Tempo}} (\sqrt{h})$	1 : 3 : 0,80	1 : 3 : 0,63	1 : 3 : 0,62
	Absorção de água por capilaridade (kg/m ²)		
0,00	0,000	0,000	0,000
0,29	0,713	0,866	0,560
0,41	0,917	1,070	0,764
0,50	1,120	1,324	0,917
0,71	1,477	1,681	1,171
0,87	1,783	1,986	1,426
1,00	2,037	2,292	1,681
1,41	2,852	3,107	2,292
1,73	3,463	3,718	2,801
2,00	4,074	4,278	3,209
2,45	4,889	5,093	3,820
4,90	9,015	8,862	6,875

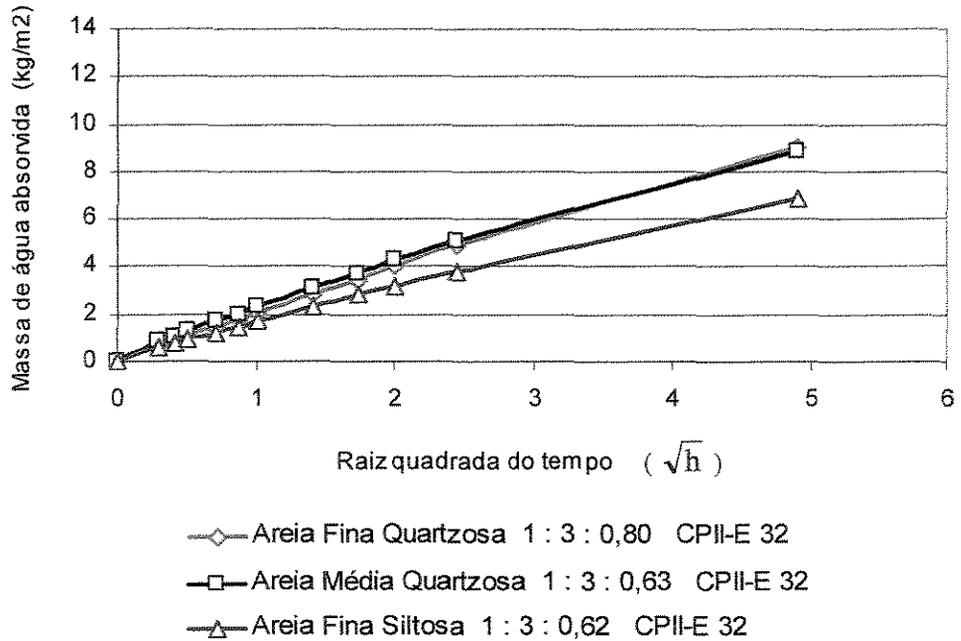


Figura 5.22 - Massa de água absorvida por absorção capilar em argamassa convencional: utilização de três tipos de areia

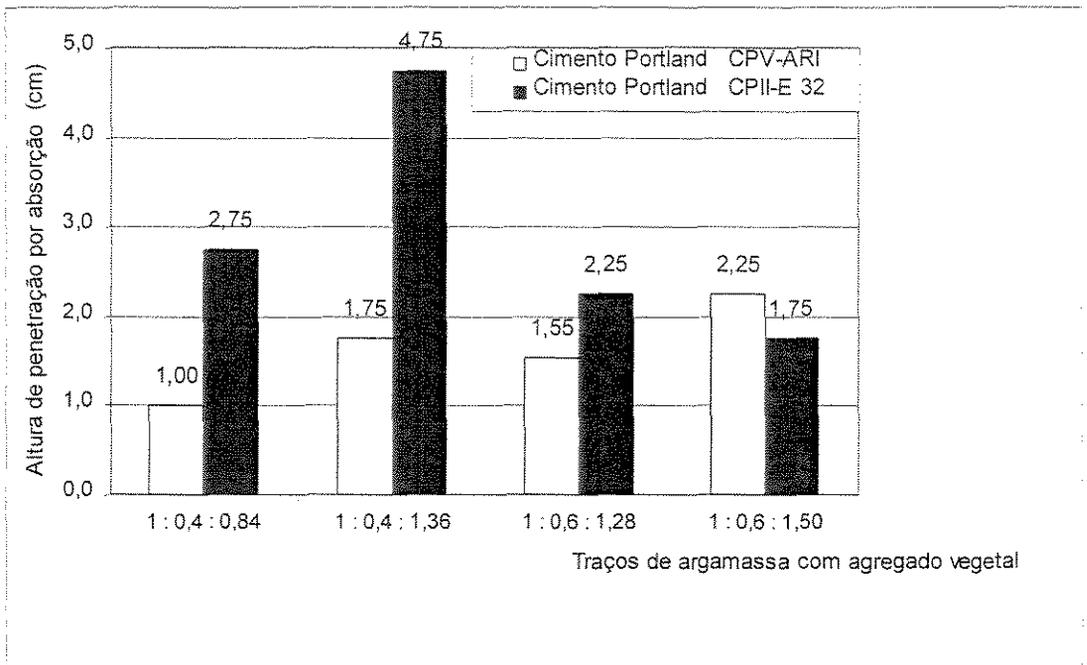


Figura 5.23 - Altura de penetração de água por absorção capilar em argamassa leve com agregado vegetal: CPV-ARI e CPII-E 32

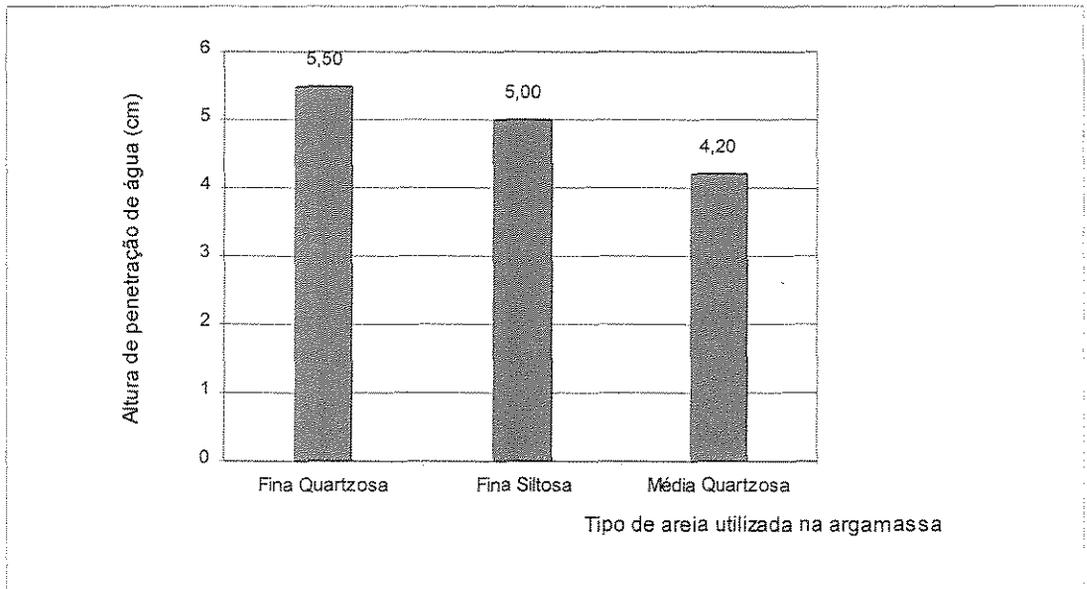


Figura 5.24 - Altura de penetração de água por absorção capilar em argamassa convencional com três tipos de areia: CPII-E 32

Condutividade térmica

Tabela 5.20 - Condutividade térmica - argamassa com agregado vegetal (1 : 0,4 : X)

Traço (cimento : agregado : água)		Condutividade Térmica “ λ ” (W/m K)		Massa específica aparente – seco (kg/m ³)	
		CPV - ARI 32 MPa 14 dias	CPII - E 32 MPa 28 dias	CPV-ARI	CPII E 32
1 : 0,4 : 0,84	Cp1	0,265	0,247	974	968
	Cp2	0,263	0,255		
	Cp3	0,268	0,250		
	$\bar{\lambda}$	0,265	0,251		
1 : 0,4 : 0,91	Cp1	0,254	-	957	-
	Cp2	0,252	-		
	Cp3	0,253	-		
	$\bar{\lambda}$	0,253	-		
1 : 0,4 : 1,00	Cp1	0,253	0,225	910	885
	Cp2	0,254	0,221		
	Cp3	0,254	0,223		
	$\bar{\lambda}$	0,254	0,223		
1 : 0,4 : 1,10	Cp1	0,227	-	845	-
	Cp2	0,229	-		
	Cp3	0,228	-		
	$\bar{\lambda}$	0,228	-		
1 : 0,4 : 1,18	Cp1	0,226	0,220	818	780
	Cp2	0,231	0,221		
	Cp3	0,229	0,212		
	$\bar{\lambda}$	0,229	0,218		
1 : 0,4 : 1,36	Cp1	0,220	0,200	796	775
	Cp2	0,229	0,205		
	Cp3	0,223	0,203		
	$\bar{\lambda}$	0,224	0,203		

A seguir, tem-se a representação gráfica dos resultados de condutividade térmica x tempo em argamassa com agregado vegetal para os traços com teores de 40 % em massa do agregado vegetal, com os cimentos CPV-ARI e CPII-E 32. Na seqüência têm-se a representação dos resultados dos ensaios (tabelas e gráficos).

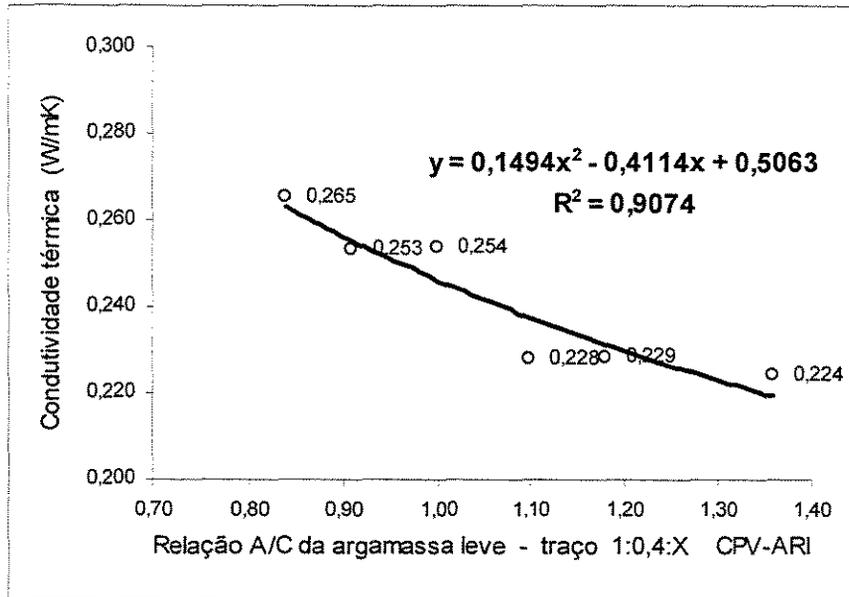


Figura 5.25 - Conduktividade térmica x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,4 : X CPV-ARI

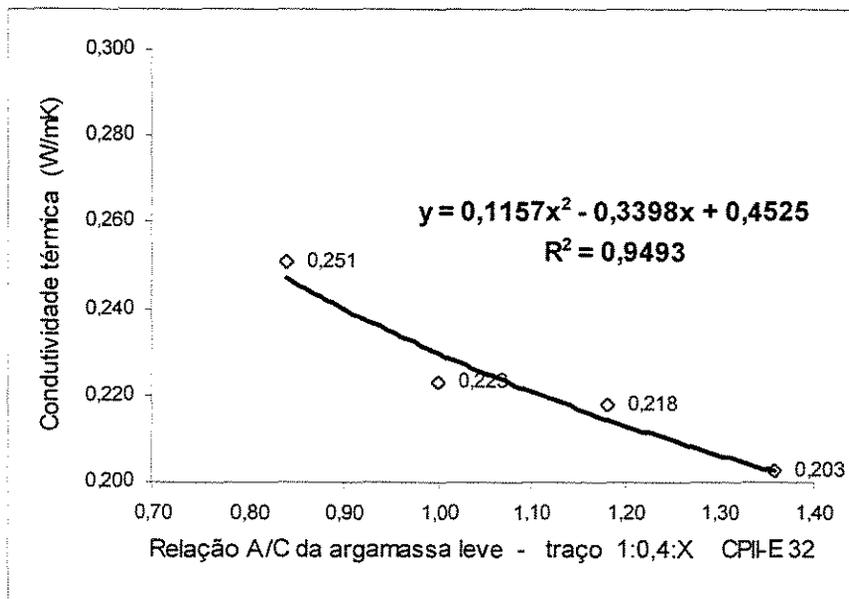


Figura 5.26 - Conduktividade térmica x relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,4 : X CPIE 32

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Trço em massa
1 : 0,4 : 0,84

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,265$ W/mK

Tipo de cimento
CPV-ARI

Tabela 5.21 - Condutividade x tempo 1: 0,4: 0,84 CPV-ARI

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,680	1,112	0,845
66	0,519	0,704	0,645
133	0,436	0,554	0,538
199	0,385	0,469	0,464
265	0,352	0,409	0,407
331	0,330	0,363	0,360
397	0,315	0,330	0,322
464	0,304	0,316	0,311
530	0,296	0,307	0,305
596	0,287	0,299	0,300
662	0,283	0,292	0,294
728	0,279	0,288	0,291
794	0,278	0,285	0,287
861	0,276	0,282	0,285
927	0,275	0,280	0,284
993	0,273	0,278	0,282
1059	0,268	0,276	0,281
1125	0,268	0,274	0,280
1192	0,268	0,272	0,278
1258	0,271	0,272	0,277
1324	0,270	0,270	0,276
1390	0,270	0,270	0,276
1456	0,269	0,269	0,275
1522	0,268	0,268	0,275
1589	0,268	0,267	0,275
1655	0,267	0,266	0,275
1721	0,267	0,266	0,274
1787	0,266	0,265	0,273
1853	0,266	0,265	0,273
1920	0,266	0,265	0,273
1986	0,265	0,264	0,272
2052	0,265	0,265	0,272
2118	0,265	0,263	0,271
2184	0,265	-	0,270
2250	0,265	-	0,270
2317	0,264	-	0,270
2383	-	-	0,269
2449	-	-	0,269
2515	-	-	0,268

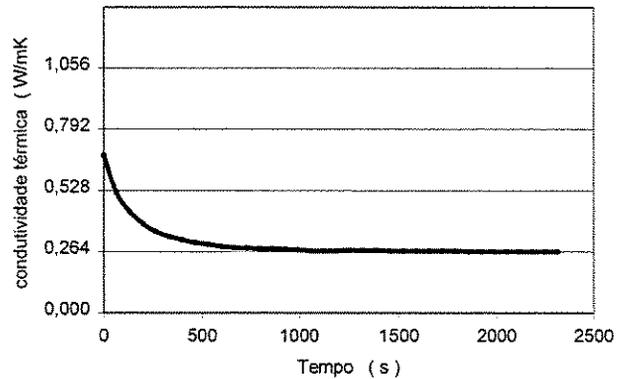


Fig. 5.27 a - Condutividade x tempo -Cp1 1:0,4:0,84 CPV-A

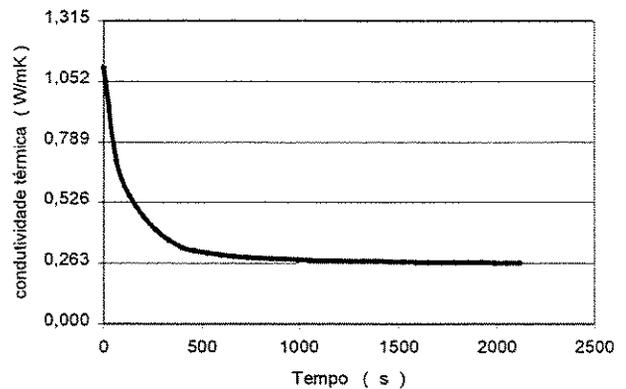


Fig. 5.27 b - Condutividade x tempo -Cp2 1:0,4:0,84 CPV-A

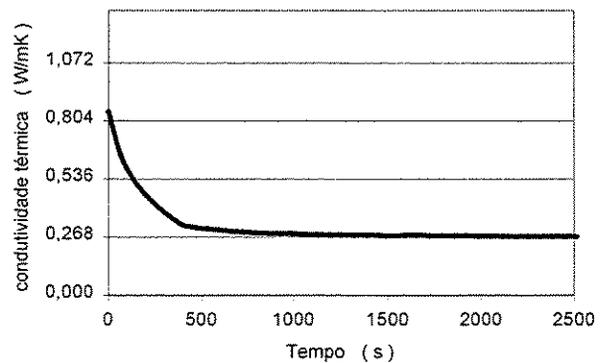


Fig. 5.27 c - Condutividade x tempo -Cp3 1:0,4:0,84 CPV-A

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Traco em massa
1 : 0,4 : 0,91

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,253 \text{ W/mK}$

Tipo de cimento
CPV-ARI

Tabela 5.22 - Condutividade x tempo 1: 0,4: 0,91 CPV-ARI

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,550	0,600	0,570
66	0,471	0,478	0,475
133	0,396	0,403	0,420
199	0,360	0,360	0,381
265	0,333	0,332	0,360
331	0,316	0,313	0,333
397	0,304	0,299	0,313
464	0,294	0,289	0,299
530	0,291	0,282	0,291
596	0,285	0,276	0,285
662	0,280	0,273	0,282
728	0,276	0,269	0,276
794	0,273	0,266	0,275
861	0,271	0,265	0,273
927	0,269	0,263	0,271
993	0,267	0,261	0,269
1059	0,265	0,261	0,267
1125	0,264	0,260	0,265
1192	0,263	0,259	0,263
1258	0,262	0,258	0,260
1324	0,261	0,257	0,260
1390	0,260	0,256	0,260
1456	0,262	0,256	0,258
1522	0,260	0,255	0,257
1589	0,260	0,255	0,256
1655	0,259	0,254	0,256
1721	0,258	0,253	0,255
1787	0,257	0,253	0,254
1853	0,256	0,253	0,254
1920	0,256	0,253	0,254
1986	0,255	0,252	0,253
2052	0,255	0,251	0,252
2118	0,255	0,250	0,253
2184	0,254	0,250	-
2250	-	0,251	-
2317	-	0,252	-
2383	-	0,252	-
2449	-	-	-
2515	-	-	-
2581	-	-	-

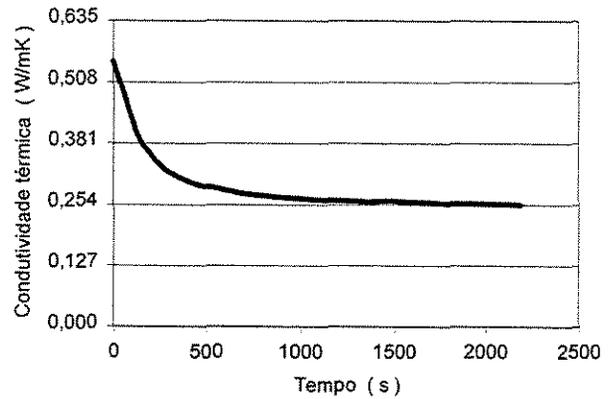


Fig. 5.28 a - Condutividade x tempo -Cp1 1:0,4:0,91 ARI

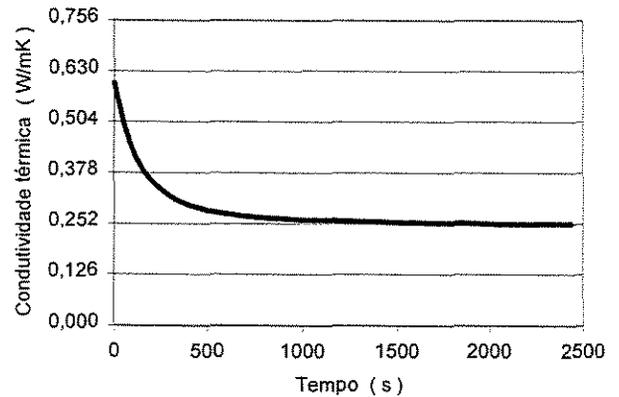


Fig. 5.28 b - Condutividade x tempo -Cp2 1:0,4:0,91 ARI

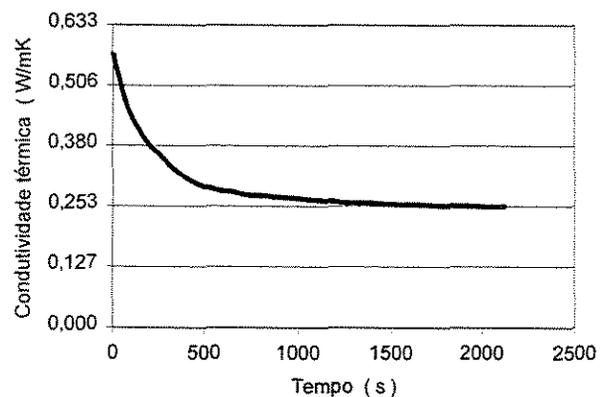


Fig. 5.28 c - Condutividade x tempo -Cp3 1:0,4:0,91 ARI

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Traco em massa
1 : 0,4 : 1,00

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,254 \text{ W/mK}$

Tipo de cimento
CPV-ARI

Tabela 5.23 - Condutividade x tempo 1: 0,4: 1,00 CPV-ARI

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,529	0,434	0,531
66	0,431	0,368	0,442
133	0,376	0,324	0,390
199	0,333	0,307	0,354
265	0,299	0,297	0,321
331	0,291	0,290	0,310
397	0,285	0,284	0,290
464	0,279	0,279	0,283
530	0,275	0,276	0,280
596	0,272	0,273	0,276
662	0,271	0,270	0,272
728	0,269	0,268	0,269
794	0,268	0,267	0,268
861	0,266	0,266	0,267
927	0,263	0,265	0,266
993	0,262	0,264	0,265
1059	0,261	0,263	0,264
1125	0,261	0,261	0,263
1192	0,261	0,260	0,262
1258	0,260	0,260	0,262
1324	0,259	0,260	0,261
1390	0,257	0,259	0,260
1456	0,257	0,259	0,259
1522	0,257	0,258	0,258
1589	0,256	0,257	0,258
1655	0,256	0,257	0,258
1721	0,256	0,257	0,258
1787	0,255	0,257	0,257
1853	0,254	0,257	0,257
1920	0,254	0,257	0,257
1986	0,254	0,256	0,256
2052	0,254	0,255	0,255
2118	0,254	0,255	0,254
2184	0,254	0,256	0,254
2250	0,253	0,256	0,254
2317	0,253	0,255	-
2383	-	0,255	-
2449	-	0,255	-
2515	-	0,254	-
2581	-	-	-

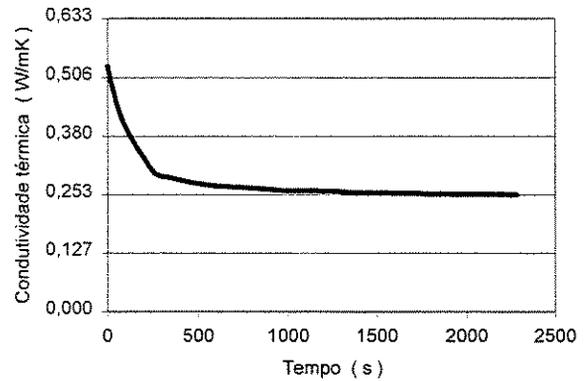


Fig. 5.29 a - Condutividade x tempo -Cp1 1:0,4:1,00 ARI

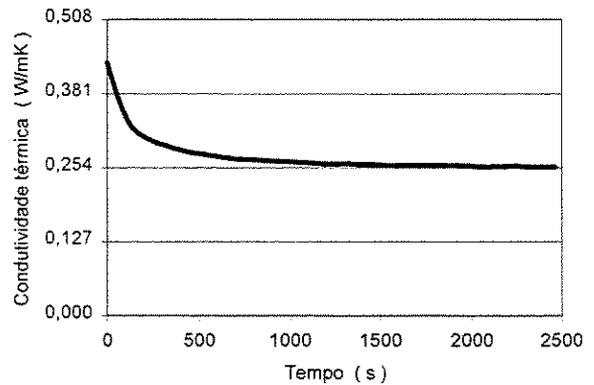


Fig. 5.29 b - Condutividade x tempo -Cp2 1:0,4:1,00 ARI

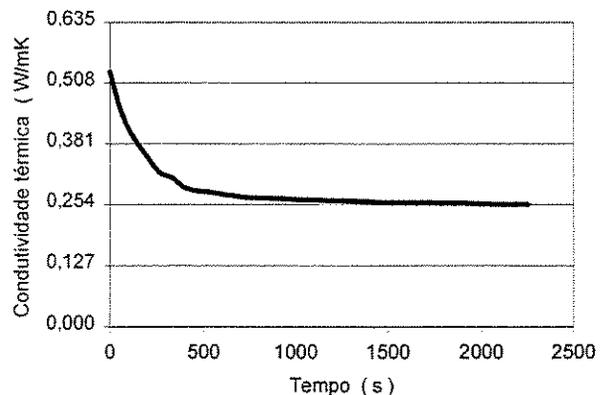


Fig. 5.29 c - Condutividade x tempo -Cp3 1:0,4:1,00 ARI

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Trço em massa
1 : 0,4 : 1,10

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,228$ W/mK

Tipo de cimento
CPV-ARI

Tabela 5.24 - Condutividade x tempo 1: 0,4: 1,10 CPV-ARI

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,457	0,514	0,502
66	0,405	0,419	0,411
133	0,352	0,357	0,355
199	0,318	0,321	0,316
265	0,295	0,299	0,297
331	0,278	0,282	0,281
397	0,268	0,271	0,272
464	0,260	0,263	0,265
530	0,254	0,257	0,263
596	0,250	0,253	0,257
662	0,246	0,249	0,255
728	0,243	0,247	0,253
794	0,241	0,246	0,251
861	0,239	0,243	0,248
927	0,237	0,242	0,246
993	0,236	0,239	0,242
1059	0,235	0,239	0,241
1125	0,234	0,238	0,241
1192	0,233	0,238	0,239
1258	0,232	0,237	0,238
1324	0,232	0,235	0,237
1390	0,233	0,233	0,236
1456	0,231	0,235	0,235
1522	0,231	0,235	0,234
1589	0,230	0,236	0,234
1655	0,229	0,235	0,233
1721	0,230	0,234	0,231
1787	0,230	0,234	0,231
1853	0,229	0,233	0,231
1920	0,229	0,231	0,230
1986	0,229	0,232	0,229
2052	0,227	0,232	0,229
2118	0,227	0,230	0,228
2184	0,228	0,229	0,228
2250	0,227	0,228	0,228
2317	-	0,228	0,228
2383	-	0,229	-
2449	-	0,229	-
2515	-	-	-
2581	-	-	-

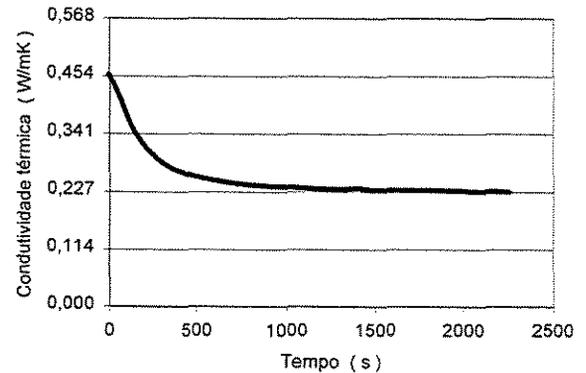


Fig. 5.30 a - Condutividade x tempo -Cp1 1:0,4:1,10 ARI

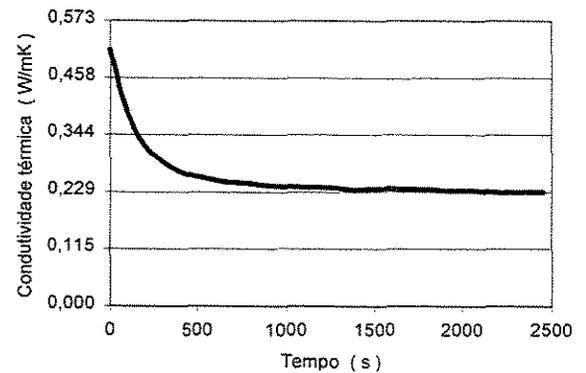


Fig. 5.30 b - Condutividade x tempo -Cp2 1:0,4:1,10 ARI

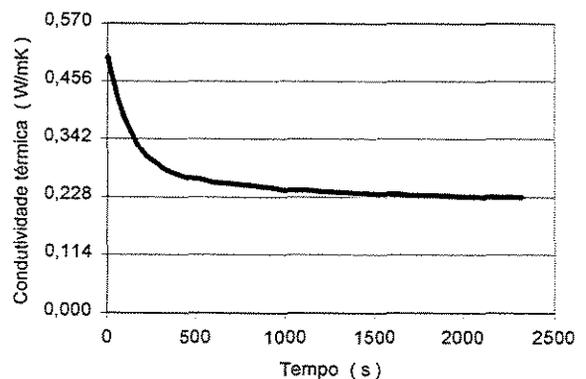


Fig. 5.30 c - Condutividade x tempo -Cp3 1:0,4:1,10 ARI

Tipo de argamassa

agregado vegetal

Traco em massa

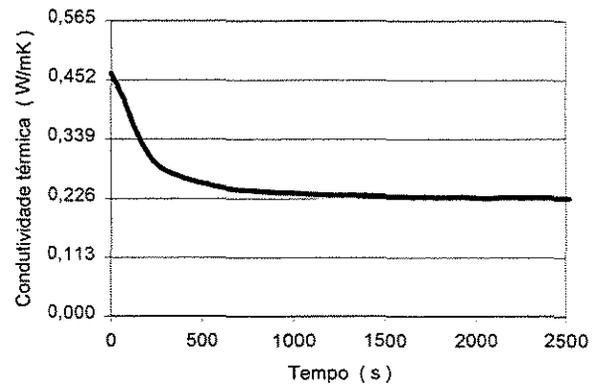
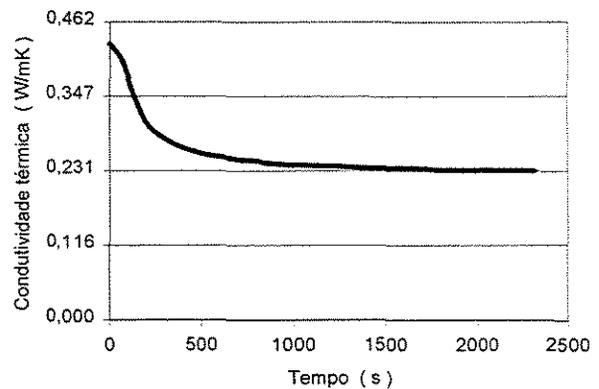
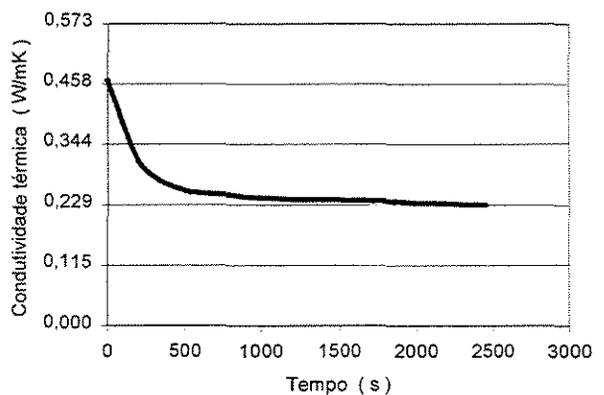
1 : 0,4 : 1,18

Condutividade média $\lambda_m = 0,229$ W/mK**Tipo de cimento**

CPV-ARI

Tabela 5.25 - Condutividade x tempo 1: 0,4: 1,18 CPV-ARI

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,463	0,427	0,465
66	0,420	0,402	0,411
133	0,359	0,347	0,355
199	0,313	0,305	0,310
265	0,287	0,288	0,289
331	0,274	0,276	0,275
397	0,265	0,267	0,266
464	0,258	0,260	0,259
530	0,253	0,255	0,253
596	0,248	0,253	0,251
662	0,244	0,250	0,250
728	0,242	0,248	0,249
794	0,240	0,246	0,247
861	0,239	0,243	0,245
927	0,237	0,241	0,243
993	0,236	0,240	0,242
1059	0,235	0,240	0,241
1125	0,234	0,239	0,240
1192	0,233	0,238	0,239
1258	0,233	0,238	0,238
1324	0,232	0,236	0,238
1390	0,232	0,235	0,238
1456	0,231	0,235	0,238
1522	0,230	0,235	0,237
1589	0,230	0,235	0,237
1655	0,229	0,235	0,237
1721	0,229	0,234	0,236
1787	0,228	0,232	0,236
1853	0,228	0,232	0,235
1920	0,229	0,232	0,234
1986	0,227	0,232	0,232
2052	0,227	0,232	0,232
2118	0,227	0,232	0,232
2184	0,228	0,232	0,231
2250	0,227	0,231	0,230
2317	0,227	0,231	0,229
2383	0,227	-	0,229
2449	0,226	-	0,229
2515	0,226	-	-
2581	0,226	-	-

**Fig. 5.31 a - Condutividade x tempo -Cp1 1:0,4:1,18 ARI****Fig. 5.31 b - Condutividade x tempo -Cp2 1:0,4:1,18 ARI****Fig. 5.31 c - Condutividade x tempo -Cp3 1:0,4:1,18 ARI**

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Traco em massa
1 : 0,4 : 1,36

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,224 \text{ W/mK}$

Tipo de cimento
CPV-ARI

Tabela 5.26 - Condutividade x tempo 1: 0,4: 1,36 CPV-ARI

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,897	0,626	0,752
66	0,558	0,454	0,498
133	0,439	0,384	0,413
199	0,373	0,336	0,356
265	0,331	0,3	0,314
331	0,304	0,281	0,280
397	0,285	0,27	0,263
464	0,271	0,262	0,257
530	0,261	0,256	0,252
596	0,253	0,252	0,249
662	0,248	0,249	0,246
728	0,242	0,245	0,243
794	0,239	0,243	0,241
861	0,239	0,241	0,24
927	0,238	0,24	0,238
993	0,235	0,239	0,236
1059	0,233	0,238	0,235
1125	0,232	0,237	0,234
1192	0,23	0,235	0,233
1258	0,229	0,234	0,232
1324	0,228	0,233	0,233
1390	0,227	0,234	0,232
1456	0,226	0,234	0,231
1522	0,225	0,233	0,231
1589	0,225	0,233	0,23
1655	0,224	0,232	0,23
1721	0,224	0,232	0,229
1787	0,221	0,231	0,229
1853	0,221	0,23	0,228
1920	0,221	0,23	0,227
1986	0,221	0,23	0,227
2052	0,220	0,229	0,227
2118	-	0,229	0,227
2184	-	0,229	0,227
2250	-	0,229	0,226
2317	-	0,23	0,226
2383	-	0,229	0,226
2449	-	-	0,226
2515	-	-	0,226
2581	-	-	0,223

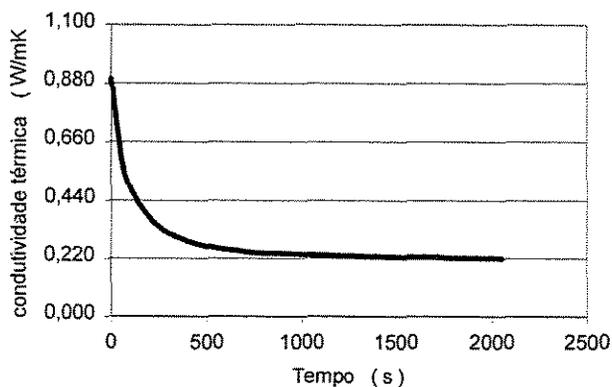


Fig. 5.32 a - Condutividade x tempo -Cp1 1:0,4:1,36 ARI

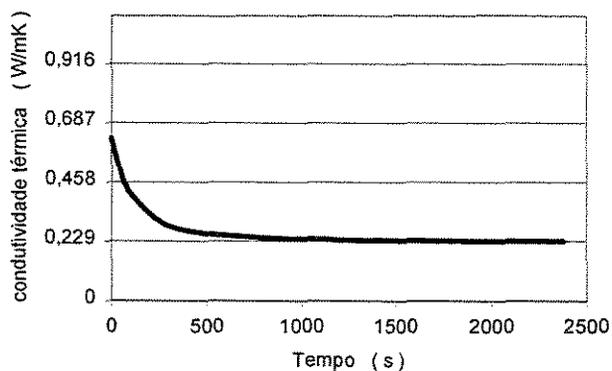


Fig. 5.32 b - Condutividade x tempo -Cp2 1:0,4:1,36 ARI

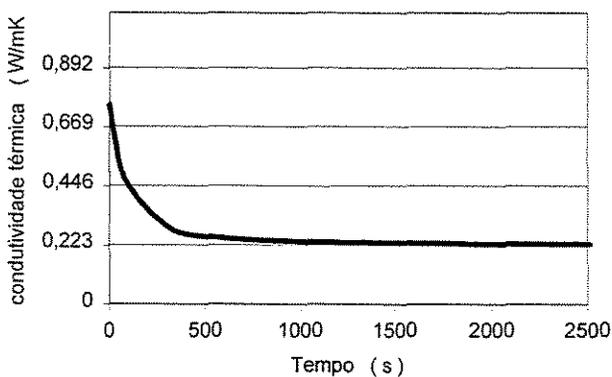


Fig. 5.32 c - Condutividade x tempo -Cp3 1:0,4:1,36 ARI

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Traço em massa
1 : 0,4 : 0,84

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,251 \text{ W/mK}$

Tipo de cimento
CPII-E 32

Tabela 5.27 - Condutividade x tempo 1: 0,4: 0,84 CPII-E 32

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,977	0,714	0,660
66	0,664	0,563	0,510
133	0,511	0,465	0,427
199	0,423	0,399	0,367
265	0,364	0,349	0,321
331	0,319	0,315	0,304
397	0,303	0,303	0,293
464	0,290	0,293	0,285
530	0,282	0,286	0,280
596	0,275	0,281	0,274
662	0,269	0,277	0,271
728	0,265	0,272	0,269
794	0,263	0,269	0,266
861	0,261	0,267	0,264
927	0,259	0,266	0,263
993	0,257	0,264	0,261
1059	0,256	0,263	0,260
1125	0,254	0,262	0,259
1192	0,253	0,261	0,258
1258	0,252	0,260	0,257
1324	0,252	0,260	0,257
1390	0,251	0,259	0,256
1456	0,251	0,259	0,256
1522	0,250	0,258	0,255
1589	0,249	0,257	0,254
1655	0,248	0,257	0,254
1721	0,248	0,256	0,254
1787	0,248	0,257	0,253
1853	0,248	0,256	0,253
1920	0,247	0,256	0,250
1986	0,246	0,255	-
2052	0,247	-	-
2118	-	-	-
2184	-	-	-
2250	-	-	-
2317	-	-	-
2383	-	-	-
2449	-	-	-
2515	-	-	-
2581	-	-	-

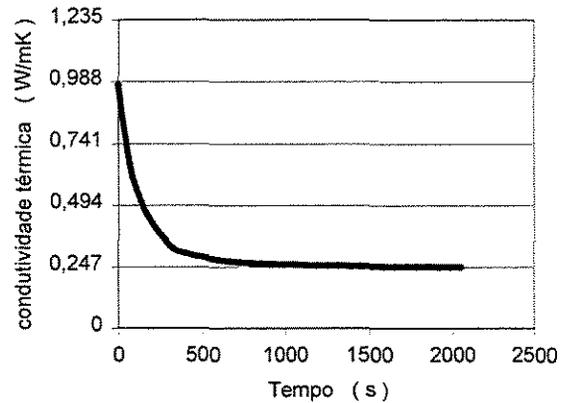


Fig. 5.33 a - Condutividade x tempo - Cp1 1:0,4:0,84 CPII-E

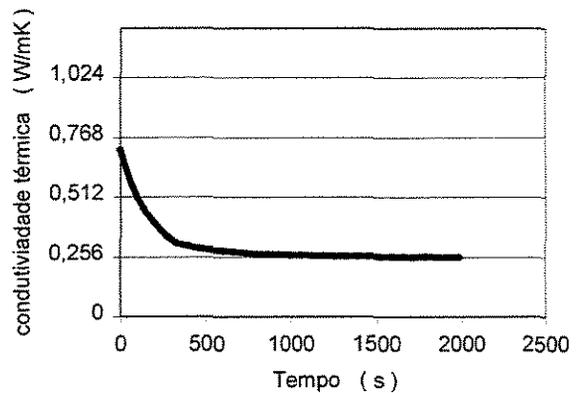


Fig. 5.33 b - Condutividade x tempo - Cp2 1:0,4:0,84 CPII-E

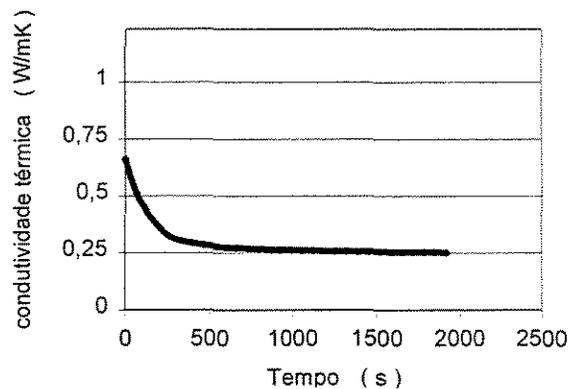


Fig. 5.33 c - Condutividade x tempo - Cp3 1:0,4:0,84 CPII-E

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Traco em massa
1 : 0,4 : 1,00

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,223 \text{ W/mK}$

Tipo de cimento
CPII-E 32

Tabela 5.28 - Condutividade x tempo 1:0,4:1,00 CPII-E 32

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,410	0,470	0,447
66	0,370	0,420	0,411
133	0,330	0,388	0,379
199	0,303	0,358	0,345
265	0,284	0,335	0,321
331	0,272	0,309	0,302
397	0,266	0,290	0,288
464	0,261	0,276	0,275
530	0,254	0,264	0,261
596	0,249	0,256	0,257
662	0,245	0,250	0,252
728	0,241	0,249	0,248
794	0,240	0,246	0,245
861	0,238	0,242	0,243
927	0,236	0,239	0,240
993	0,235	0,237	0,239
1059	0,233	0,235	0,238
1125	0,232	0,232	0,237
1192	0,232	0,231	0,235
1258	0,231	0,230	0,233
1324	0,232	0,231	0,232
1390	0,231	0,231	0,232
1456	0,230	0,228	0,231
1522	0,231	0,226	0,230
1589	0,231	0,226	0,229
1655	0,227	0,225	0,229
1721	0,226	0,226	0,228
1787	0,227	0,225	0,227
1853	0,226	0,225	0,226
1920	0,226	0,225	0,225
1986	0,226	0,223	0,224
2052	0,226	0,222	0,224
2118	0,226	0,222	0,224
2184	0,225	0,222	0,224
2250	0,225	0,222	0,224
2317	-	0,222	0,223
2383	-	0,221	0,223
2449	-	0,221	-
2515	-	0,221	-
2581	-	-	-

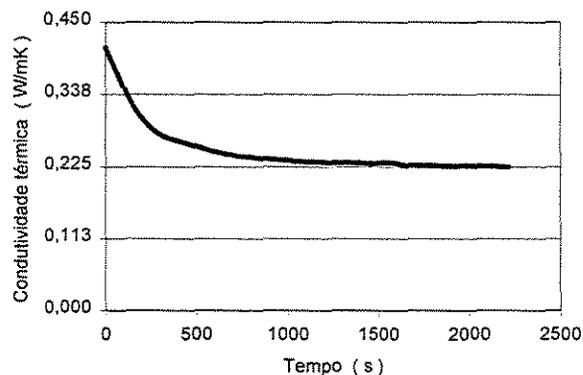


Fig. 5.34 a - Condutividade x tempo - Cp1 1:0,4:1,00 CPII-E

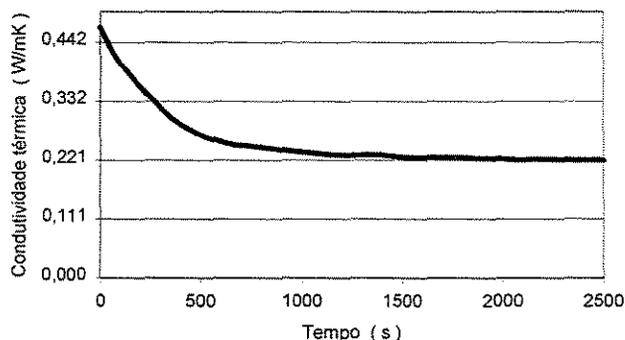


Fig. 5.34 b - Condutividade x tempo - Cp2 1:0,4:1,00 CPII-E

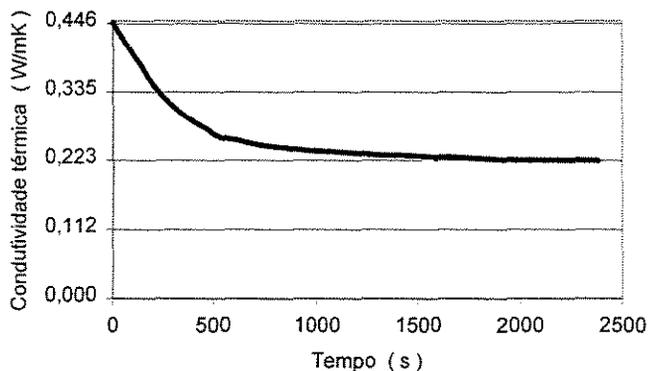


Fig. 5.34 c - Condutividade x tempo - Cp3 1:0,4:1,00 CPII-E

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Traço em massa
1 : 0,4 : 1,18

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,218$ W/mK

Tipo de cimento
CPII-E 32

Tabela 5.29 - Condutividade x tempo 1: 0,4: 1,18 CPII-E 32

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,980	0,556	0,542
66	0,559	0,453	0,453
133	0,419	0,387	0,374
199	0,347	0,336	0,323
265	0,309	0,305	0,294
331	0,286	0,289	0,275
397	0,269	0,277	0,261
464	0,258	0,268	0,252
530	0,250	0,262	0,245
596	0,244	0,256	0,240
662	0,240	0,252	0,235
728	0,236	0,248	0,230
794	0,234	0,245	0,227
861	0,232	0,242	0,226
927	0,229	0,240	0,223
993	0,230	0,238	0,222
1059	0,228	0,236	0,221
1125	0,227	0,234	0,219
1192	0,226	0,232	0,220
1258	0,226	0,231	0,220
1324	0,225	0,230	0,219
1390	0,224	0,229	0,218
1456	0,224	0,228	0,217
1522	0,223	0,227	0,216
1589	0,222	0,227	0,215
1655	0,222	0,226	0,216
1721	0,221	0,225	0,212
1787	0,221	0,225	0,212
1853	0,221	0,224	-
1920	0,221	0,223	-
1986	0,220	0,223	-
2052	-	0,222	-
2118	-	0,222	-
2184	-	0,222	-
2250	-	0,221	-
2317	-	-	-
2383	-	-	-
2449	-	-	-
2515	-	-	-
2581	-	-	-

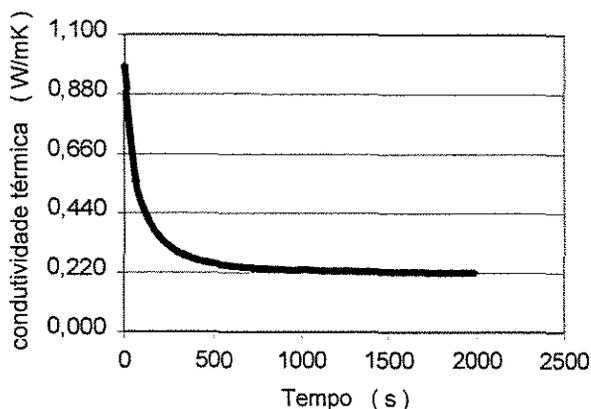


Fig. 5.35 a - Condutividade x tempo - Cp1 1:0,4:1,18 CPII-E

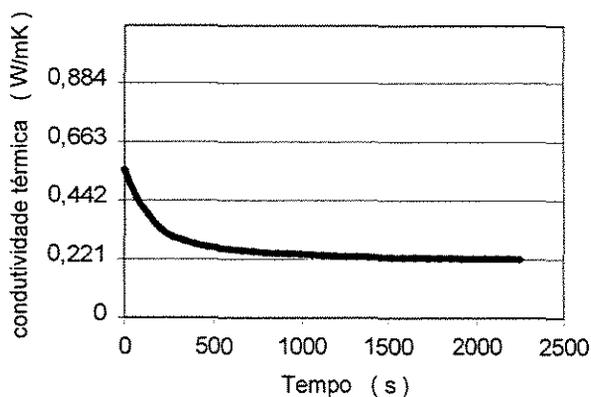


Fig. 5.35 b - Condutividade x tempo - Cp2 1:0,4:1,18 CPII-E

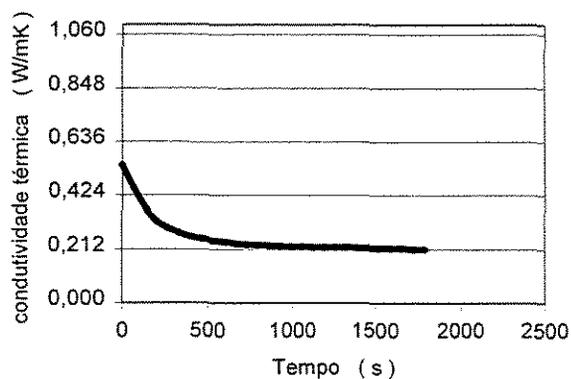


Fig. 5.35 c - Condutividade x tempo - Cp3 1:0,4:1,18 CPII-E

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Trço em massa
1 : 0,4 : 1,36

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,203 \text{ W/mK}$

Tipo de cimento
CPII-E 32

Tabela 5.30 - Condutividade x tempo 1: 0,4: 1,36 CPII-E 32

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,473	0,445	0,465
66	0,393	0,394	0,385
133	0,335	0,335	0,338
199	0,297	0,299	0,295
265	0,273	0,275	0,268
331	0,256	0,259	0,257
397	0,244	0,247	0,243
464	0,235	0,239	0,237
530	0,228	0,232	0,230
596	0,224	0,228	0,225
662	0,221	0,225	0,223
728	0,218	0,222	0,220
794	0,215	0,219	0,217
861	0,213	0,217	0,216
927	0,211	0,215	0,216
993	0,210	0,215	0,216
1059	0,209	0,213	0,215
1125	0,208	0,212	0,214
1192	0,208	0,211	0,213
1258	0,206	0,209	0,212
1324	0,205	0,210	0,211
1390	0,205	0,209	0,210
1456	0,205	0,209	0,209
1522	0,204	0,207	0,208
1589	0,204	0,206	0,207
1655	0,203	0,206	0,206
1721	0,202	0,204	0,205
1787	0,202	0,205	0,204
1853	0,202	0,205	0,204
1920	0,202	0,205	0,204
1986	0,202	-	0,203
2052	0,201	-	0,203
2118	0,201	-	-
2184	0,200	-	-
2250	0,200	-	-
2317	-	-	-
2383	-	-	-
2449	-	-	-
2515	-	-	-
2581	-	-	-

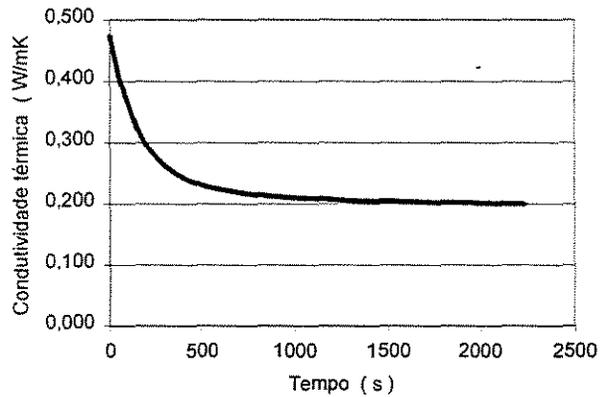


Fig. 5.36 a - Condutividade x tempo - Cp1 1:0,4:1,36 CPII-E

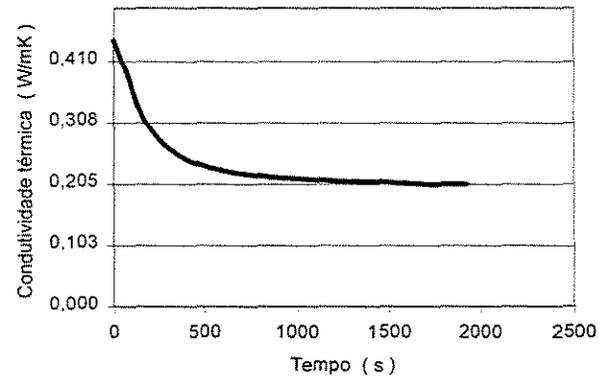


Fig. 5.36 b - Condutividade x tempo - Cp2 1:0,4:1,36 CPII-E

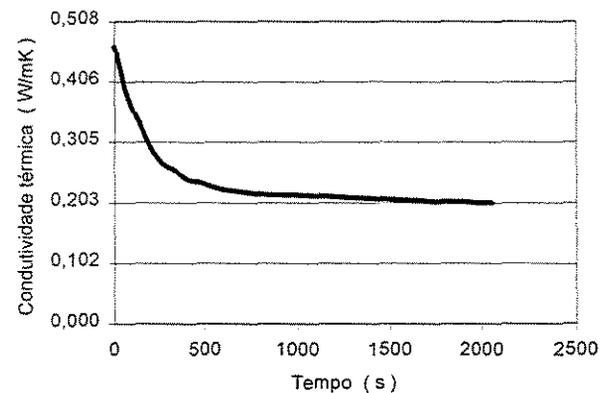


Fig. 5.36 c - Condutividade x tempo - Cp3 1:0,4:1,36 CPII-E

Tabela 5.31 - Condutividade térmica - argamassa com agregado vegetal (1 : 0,6 : X)

Traço (cimento : agregado : água)	Condutividade Térmica “ λ ” (W/m K)		Massa específica aparente - seco (kg/m ³)	
	CPV - ARI 32 MPa 14 dias	CPII - E 32 MPa 28 dias	CPV-ARI	CPII E 32
1 : 0,6 : 1,28	Cp1	0,216	811	769
	Cp2	0,223		
	Cp3	0,214		
	$\bar{\lambda}$	0,218		
1 : 0,6 : 1,31	Cp1	0,221	783	-
	Cp2	0,204		
	Cp3	0,213		
	$\bar{\lambda}$	0,213		
1 : 0,6 : 1,35	Cp1	0,213	769	745
	Cp2	0,207		
	Cp3	0,210		
	$\bar{\lambda}$	0,210		
1 : 0,6 : 1,38	Cp1	0,200	755	-
	Cp2	0,206		
	Cp3	0,203		
	$\bar{\lambda}$	0,203		
1 : 0,6 : 1,42	Cp1	0,198	748	734
	Cp2	0,200		
	Cp3	0,199		
	$\bar{\lambda}$	0,199		
1 : 0,6 : 1,50	Cp1	0,189	732	728
	Cp2	0,197		
	Cp3	0,195		
	$\bar{\lambda}$	0,194		

A seguir, tem-se a representação gráfica dos resultados de condutividade térmica x tempo em argamassa com agregado vegetal para os traços com teores de 60 % em massa do agregado vegetal, com o cimento CPV-ARI e CPII-E 32. Na seqüência têm-se a representação dos resultados dos ensaios (tabelas e gráficos).

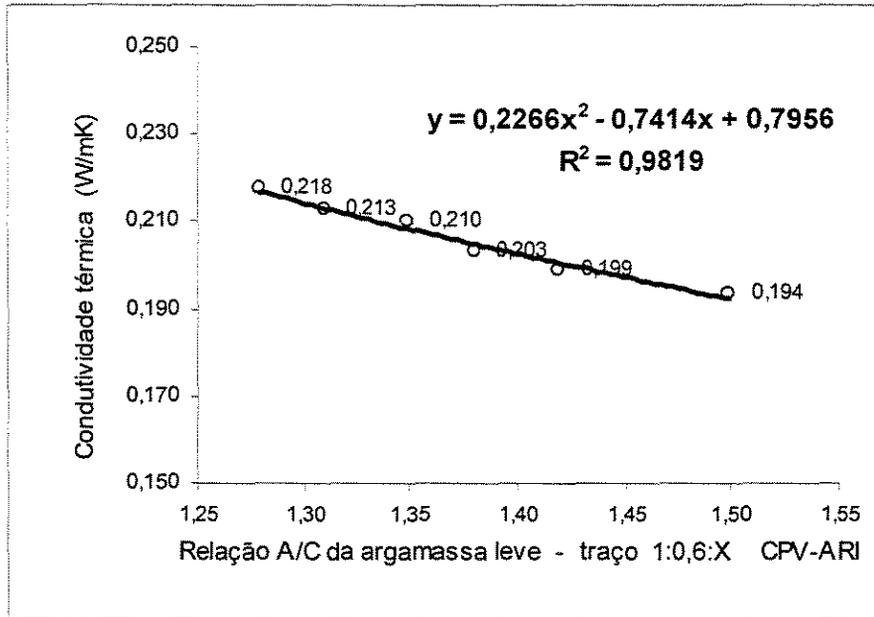


Figura 5.37 - Conduktividade térmica x variação da relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,6 : X CPV-ARI

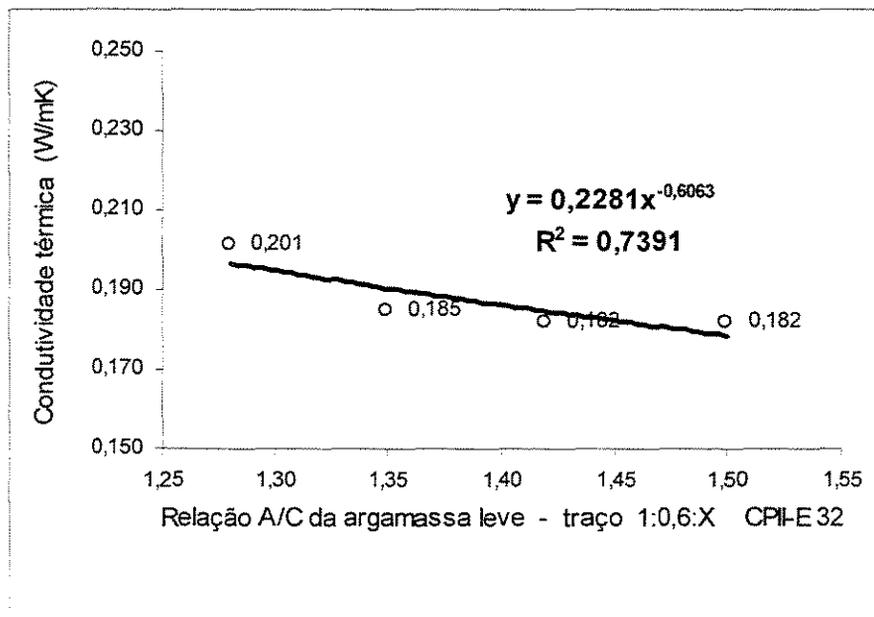


Figura 5.38 - Conduktividade térmica x variação da relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal - 1 : 0,6 : X CPII-E 32

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Traco em massa
1 : 0,6 : 1,28

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,218 \text{ W/mK}$

Tipo de cimento
CPV-ARI

Tabela 5.32 - Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,28 CPV-ARI

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,457	0,602	0,818
66	0,439	0,394	0,583
133	0,368	0,339	0,463
199	0,323	0,307	0,389
265	0,294	0,288	0,338
331	0,274	0,273	0,299
397	0,259	0,263	0,273
464	0,249	0,256	0,261
530	0,242	0,251	0,252
596	0,236	0,247	0,245
662	0,233	0,243	0,240
728	0,230	0,241	0,238
794	0,228	0,238	0,232
861	0,226	0,236	0,229
927	0,224	0,234	0,228
993	0,223	0,233	0,226
1059	0,222	0,232	0,225
1125	0,221	0,231	0,224
1192	0,220	0,229	0,223
1258	0,220	0,229	0,222
1324	0,220	0,228	0,221
1390	0,219	0,227	0,221
1456	0,219	0,227	0,221
1522	0,218	0,227	0,219
1589	0,218	0,230	0,219
1655	0,218	0,229	0,218
1721	0,217	0,228	0,218
1787	0,217	0,227	0,218
1853	0,217	0,226	0,217
1920	0,216	0,225	0,217
1986	0,217	0,224	0,216
2052	0,217	0,224	0,216
2118	0,216	0,223	0,216
2184	0,216	0,223	0,216
2250	0,216		0,216
2317	-		0,216
2383	-		0,214
2449	-		-
2515	-		-
2581	-		-

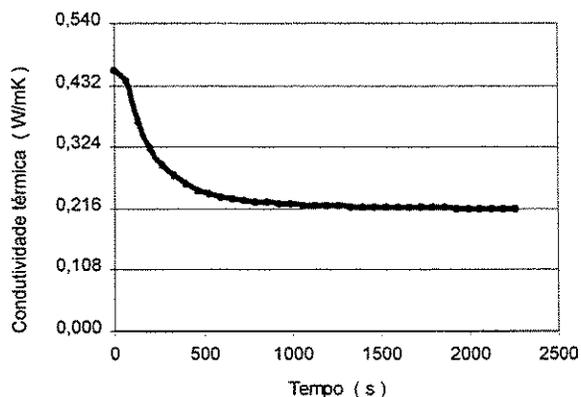


Fig. 5.39 a - Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,28 ARI

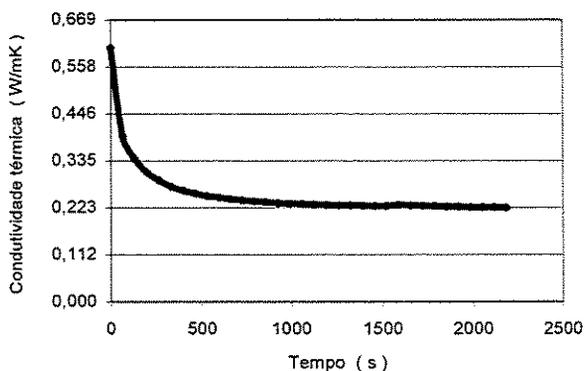


Fig. 5.39 b - Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,28 ARI

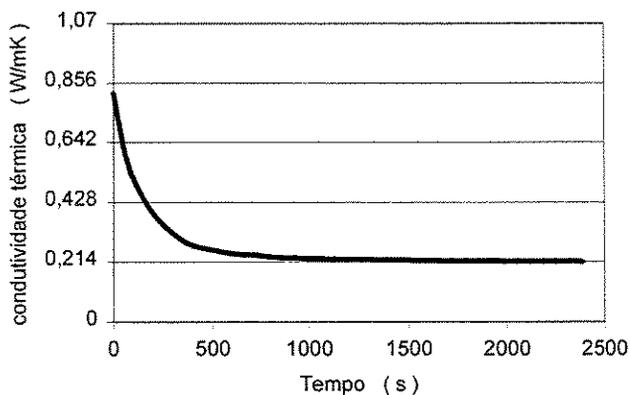


Fig. 5.39 c - Condutividade x tempo - Cp3 1:0,6:1,28 ARI

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Traço em massa
1 : 0,6 : 1,31

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,213 \text{ W/mK}$

Tipo de cimento
CPV-ARI

Tabela 5.33 - Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,31 CPV-ARI

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,476	0,375	0,523
66	0,443	0,339	0,414
133	0,377	0,302	0,347
199	0,331	0,277	0,311
265	0,293	0,261	0,295
331	0,277	0,247	0,274
397	0,267	0,238	0,264
464	0,259	0,233	0,251
530	0,252	0,229	0,249
596	0,247	0,225	0,243
662	0,243	0,221	0,243
728	0,240	0,218	0,242
794	0,239	0,215	0,240
861	0,237	0,215	0,237
927	0,235	0,214	0,236
993	0,234	0,213	0,235
1059	0,233	0,212	0,233
1125	0,231	0,211	0,232
1192	0,229	0,209	0,231
1258	0,228	0,208	0,230
1324	0,228	0,208	0,229
1390	0,227	0,208	0,226
1456	0,227	0,208	0,224
1522	0,226	0,207	0,224
1589	0,226	0,206	0,223
1655	0,226	0,206	0,222
1721	0,225	0,206	0,222
1787	0,224	0,207	0,222
1853	0,224	0,207	0,217
1920	0,223	0,206	0,216
1986	0,221	0,206	0,215
2052	-	0,205	0,215
2118	-	0,204	0,215
2184	-	0,204	0,215
2250	-	-	0,214
2317	-	-	0,214
2383	-	-	0,213
2449	-	-	-
2515	-	-	-
2581	-	-	-

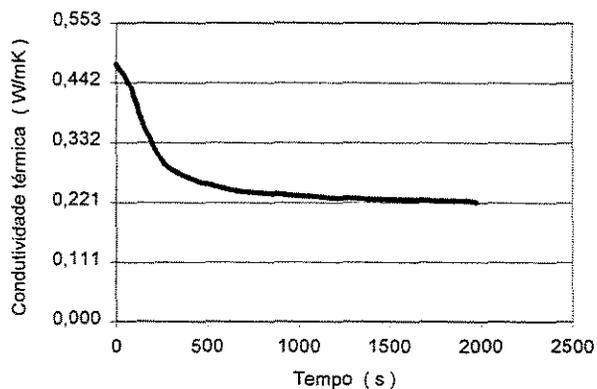


Fig. 5.40 a - Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,31 ARI

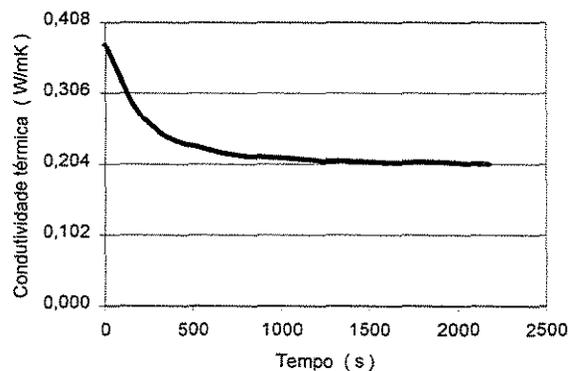


Fig. 5.40 b - Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,31 ARI

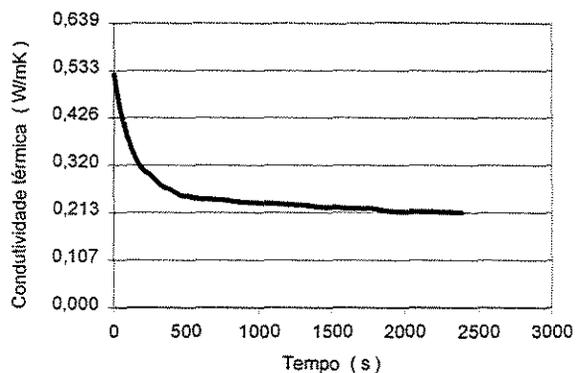


Fig. 5.40 c - Condutividade x tempo - Cp3 1:0,6:1,31 ARI

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Traço em massa
1 : 0,6 : 1,35

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,210$ W/mK

Tipo de cimento
CPV-ARI

Tabela 5.34 - Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,35 CPV-ARI

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,459	0,453	0,495
66	0,409	0,349	0,411
133	0,353	0,306	0,361
199	0,316	0,278	0,312
265	0,294	0,261	0,280
331	0,276	0,248	0,261
397	0,264	0,240	0,249
464	0,255	0,234	0,235
530	0,248	0,230	0,229
596	0,243	0,226	0,224
662	0,238	0,224	0,221
728	0,234	0,222	0,220
794	0,231	0,219	0,218
861	0,229	0,217	0,217
927	0,227	0,216	0,217
993	0,226	0,216	0,217
1059	0,224	0,214	0,216
1125	0,222	0,214	0,215
1192	0,218	0,213	0,214
1258	0,218	0,212	0,213
1324	0,218	0,212	0,212
1390	0,217	0,211	0,212
1456	0,217	0,211	0,212
1522	0,216	0,211	0,212
1589	0,215	0,211	0,211
1655	0,215	0,210	0,211
1721	0,215	0,209	0,211
1787	0,214	0,209	0,211
1853	0,214	0,209	0,210
1920	0,213	0,209	-
1986	-	0,208	-
2052	-	0,207	-
2118	-	0,207	-
2184	-	-	-
2250	-	-	-
2317	-	-	-
2383	-	-	-
2449	-	-	-
2515	-	-	-
2581	-	-	-

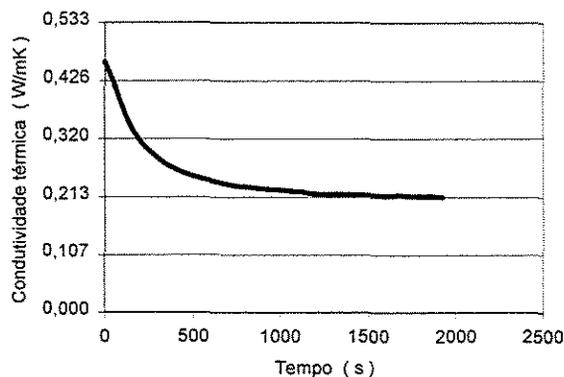


Fig. 5.41 a - Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,35 ARI

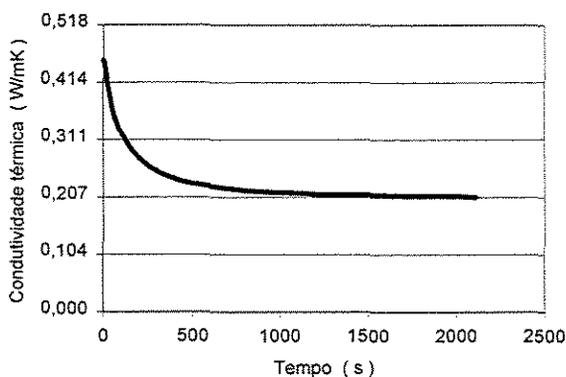


Fig. 5.41 b - Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,35 ARI

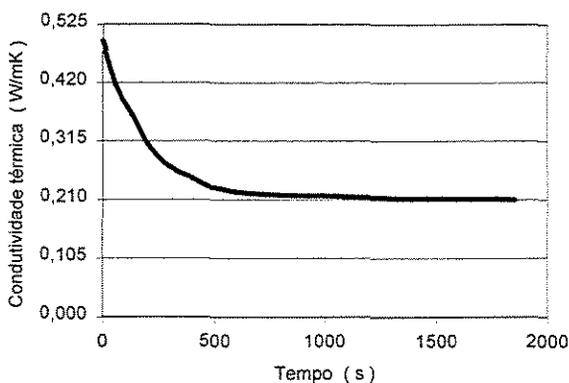


Fig. 5.41 c - Condutividade x tempo - Cp3 1:0,6:1,35 ARI

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Traco em massa
1 : 0,6 : 1,38

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,203 \text{ W/mK}$

Tipo de cimento
CPV-ARI

Tabela 5.35 - Condutividade x tempo 1:0,6:1,38 CPV-ARI

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,529	0,373	0,510
66	0,415	0,331	0,413
133	0,344	0,294	0,342
199	0,302	0,271	0,300
265	0,279	0,257	0,268
331	0,261	0,246	0,255
397	0,248	0,239	0,240
464	0,238	0,233	0,235
530	0,231	0,228	0,228
596	0,225	0,225	0,225
662	0,221	0,223	0,223
728	0,218	0,221	0,222
794	0,215	0,219	0,221
861	0,213	0,218	0,220
927	0,211	0,216	0,219
993	0,210	0,215	0,218
1059	0,206	0,217	0,218
1125	0,205	0,216	0,217
1192	0,205	0,215	0,216
1258	0,205	0,214	0,215
1324	0,204	0,214	0,214
1390	0,204	0,213	0,212
1456	0,203	0,212	0,210
1522	0,203	0,211	0,209
1589	0,203	0,210	0,208
1655	0,203	0,210	0,206
1721	0,202	0,210	0,206
1787	0,202	0,209	0,205
1853	0,201	0,209	0,205
1920	0,202	0,209	0,204
1986	0,202	0,209	0,204
2052	0,201	0,208	0,203
2118	0,200	0,208	-
2184	0,200	0,207	-
2250	-	0,207	-
2317	-	0,206	-
2383	-	-	-
2449	-	-	-
2515	-	-	-
2581	-	-	-

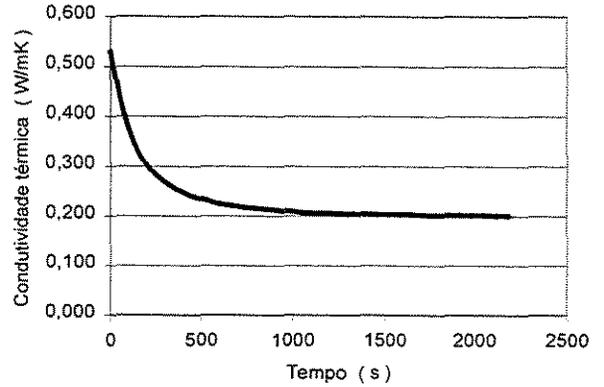


Fig. 5.42 a - Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,38 ARI

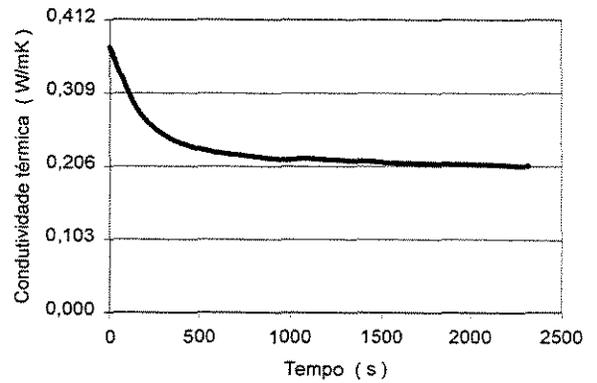


Fig. 5.42 b - Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,38 ARI

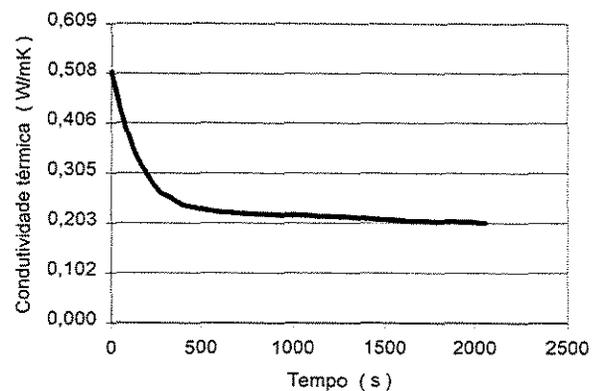


Fig. 5.42 c - Condutividade x tempo - Cp3 1:0,6:1,38 ARI

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Traco em massa
1 : 0,6 : 1,42

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,199$ W/mK

Tipo de cimento
CPV-ARI

Tabela 5.36 - Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,42 CPV-ARI

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,367	0,466	0,453
66	0,327	0,391	0,354
133	0,289	0,338	0,297
199	0,269	0,297	0,2778
265	0,252	0,264	0,255
331	0,241	0,244	0,238
397	0,232	0,235	0,234
464	0,227	0,230	0,231
530	0,222	0,226	0,225
596	0,219	0,222	0,223
662	0,215	0,219	0,222
728	0,212	0,217	0,221
794	0,211	0,214	0,220
861	0,210	0,210	0,218
927	0,208	0,209	0,217
993	0,206	0,208	0,216
1059	0,205	0,205	0,214
1125	0,203	0,208	0,212
1192	0,202	0,208	0,210
1258	0,202	0,207	0,209
1324	0,203	0,205	0,208
1390	0,202	0,204	0,207
1456	0,202	0,205	0,206
1522	0,201	0,205	0,205
1589	0,200	0,205	0,204
1655	0,200	0,204	0,203
1721	0,199	0,204	0,202
1787	0,199	0,204	0,202
1853	0,199	0,203	0,201
1920	0,198	0,202	0,201
1986	0,198	0,202	0,200
2052	0,198	0,200	0,200
2118	0,197	-	0,200
2184	0,197	-	0,199
2250	0,199	-	-
2317	0,199	-	-
2383	0,198	-	-
2449	0,198	-	-
2515	-	-	-
2581	-	-	-

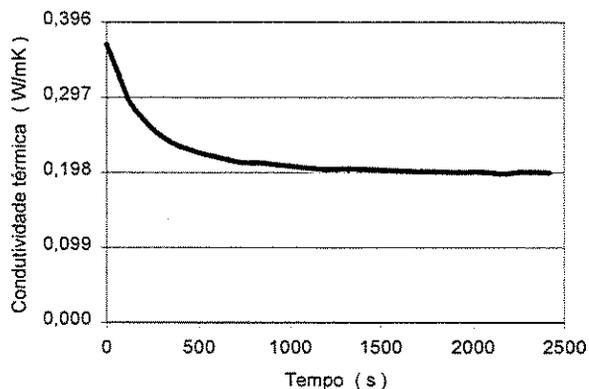


Fig. 5.43 a - Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,42 ARI

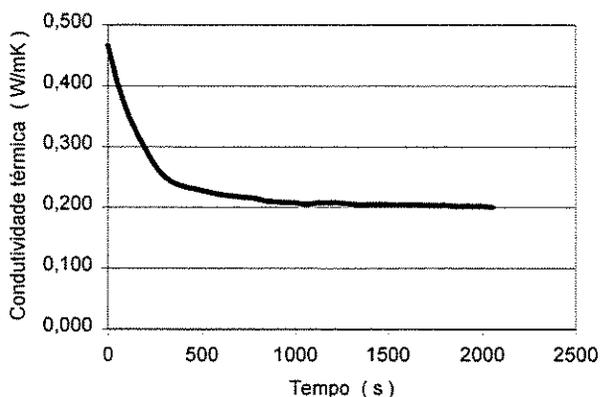


Fig. 5.43 b - Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,42 ARI

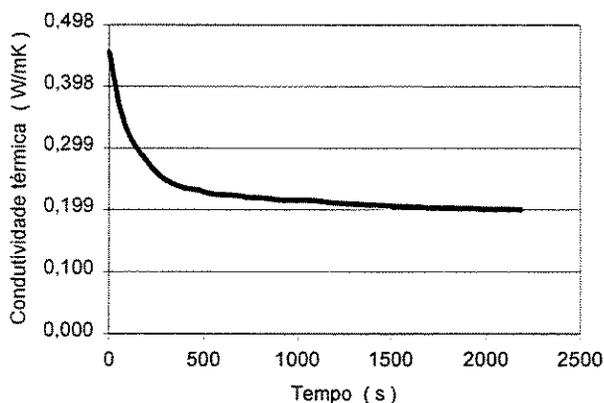


Fig. 5.43 c - Condutividade x tempo - Cp3 1:0,6:1,42 ARI

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Traco em massa
1 : 0,6 : 1,50

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,194 \text{ W/mK}$

Tipo de cimento
CPV-ARI

Tabela 5.37 - Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,50 CPV-ARI

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,779	0,620	0,626
66	0,464	0,451	0,440
133	0,368	0,373	0,365
199	0,314	0,323	0,318
265	0,281	0,285	0,281
331	0,258	0,260	0,251
397	0,245	0,248	0,238
464	0,233	0,239	0,230
530	0,224	0,232	0,225
596	0,218	0,227	0,218
662	0,213	0,223	0,213
728	0,209	0,220	0,210
794	0,208	0,217	0,208
861	0,208	0,214	0,205
927	0,206	0,213	0,207
993	0,203	0,211	0,206
1059	0,201	0,209	0,206
1125	0,200	0,208	0,205
1192	0,199	0,207	0,204
1258	0,197	0,206	0,203
1324	0,196	0,205	0,202
1390	0,195	0,203	0,201
1456	0,194	0,203	0,201
1522	0,193	0,202	0,200
1589	0,194	0,202	0,198
1655	0,193	0,200	0,198
1721	0,193	0,199	0,198
1787	0,192	0,199	0,198
1853	0,192	0,200	0,198
1920	0,192	0,200	0,197
1986	0,193	0,200	0,197
2052	0,192	0,200	0,197
2118	0,191	0,200	0,197
2184	0,191	0,200	0,196
2250	0,190	0,199	0,196
2317	0,190	0,199	0,195
2383	0,190	0,199	-
2449	0,190	0,199	-
2515	0,190	0,199	-
2581	0,189	0,197	-

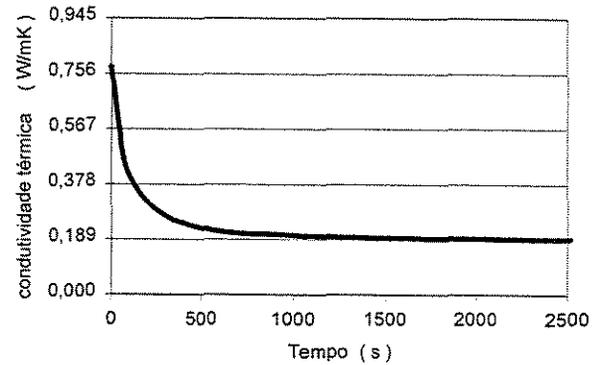


Fig. 5.44 a - Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,50 ARI

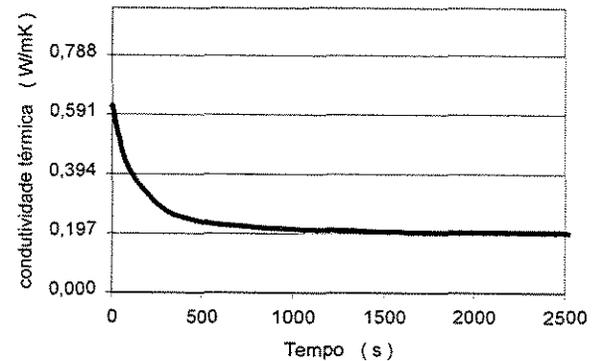


Fig. 5.44 b - Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,50 ARI

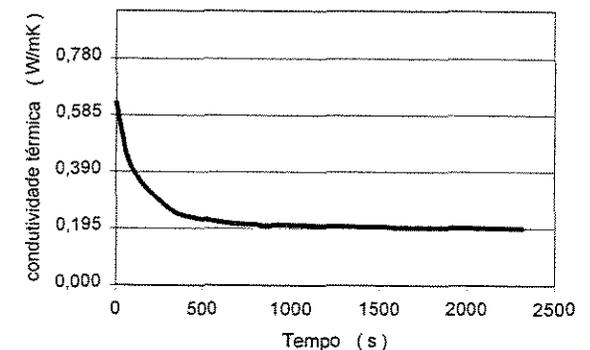


Fig. 5.44 c - Condutividade x tempo - Cp3 1:0,6:1,50 ARI

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Traco em massa
1 : 0,6 : 1,28

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,201$ W/mK

Tipo de cimento
CPII-E 32

Tabela 5.38 - Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,28 CPII-E 32

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,612	0,657	0,555
66	0,480	0,448	0,395
133	0,377	0,368	0,327
199	0,322	0,316	0,282
265	0,287	0,278	0,263
331	0,265	0,256	0,250
397	0,250	0,244	0,241
464	0,238	0,237	0,233
530	0,230	0,230	0,228
596	0,224	0,225	0,224
662	0,220	0,222	0,221
728	0,216	0,219	0,218
794	0,214	0,216	0,216
861	0,212	0,214	0,214
927	0,210	0,212	0,212
993	0,208	0,211	0,211
1059	0,207	0,209	0,210
1125	0,206	0,209	0,209
1192	0,205	0,208	0,208
1258	0,204	0,207	0,208
1324	0,203	0,206	0,207
1390	0,203	0,206	0,206
1456	0,203	0,205	0,206
1522	0,202	0,204	0,205
1589	0,202	0,204	0,205
1655	0,202	0,203	0,205
1721	0,201	0,203	0,204
1787	0,200	0,203	0,204
1853	0,200	0,202	0,203
1920	0,199	0,202	0,203
1986	0,199	0,202	0,203
2052	0,199	0,201	-
2118	-	0,201	-
2184	-	0,201	-
2250	-	0,201	-
2317	-	0,201	-
2383	-	0,200	-
2449	-	-	-
2515	-	-	-
2581	-	-	-

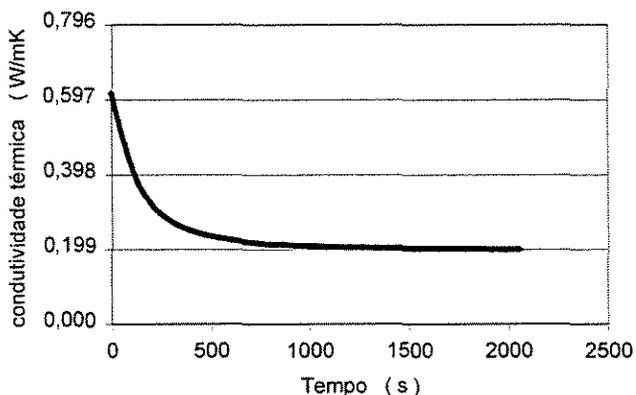


Fig. 5.45 a - Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,28 CPII-

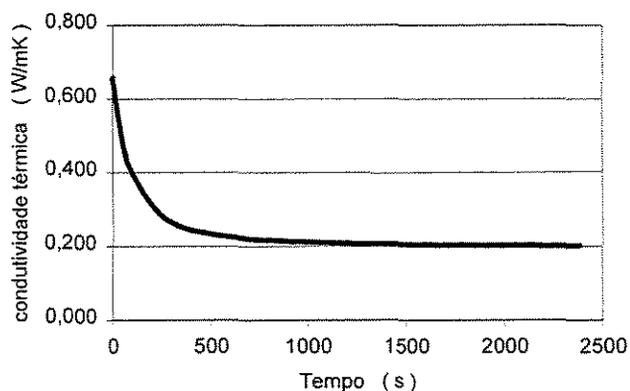


Fig. 5.45 b - Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,28 CPII-

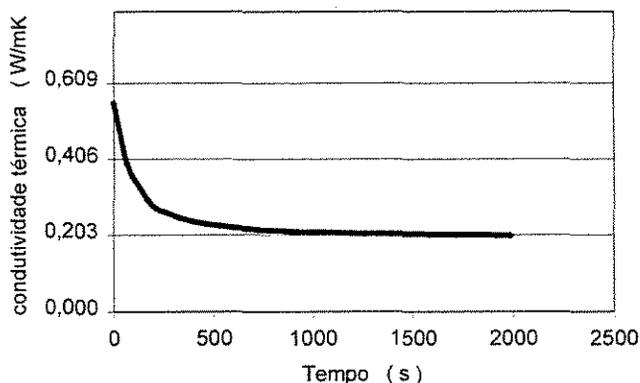


Fig. 5.45 c - Condutividade x tempo - Cp3 1:0,6:1,28 CPII-E

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Traco em massa
1 : 0,6 : 1,35

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,185 \text{ W/mK}$

Tipo de cimento
CPII-E 32

Tabela 5.39 - Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,35 CPII-E 32

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,553	0,539	0,585
66	0,442	0,405	0,379
133	0,357	0,337	0,317
199	0,309	0,294	0,276
265	0,277	0,267	0,252
331	0,257	0,249	0,238
397	0,242	0,235	0,227
464	0,231	0,226	0,220
530	0,222	0,218	0,213
596	0,217	0,212	0,209
662	0,213	0,208	0,205
728	0,209	0,205	0,202
794	0,206	0,202	0,200
861	0,204	0,199	0,198
927	0,201	0,197	0,196
993	0,202	0,195	0,195
1059	0,201	0,194	0,194
1125	0,200	0,192	0,193
1192	0,198	0,191	0,192
1258	0,197	0,190	0,191
1324	0,196	0,189	0,190
1390	0,195	0,188	0,190
1456	0,195	0,187	0,189
1522	0,194	0,187	0,188
1589	0,193	0,186	0,188
1655	0,192	0,186	0,187
1721	0,192	0,185	0,187
1787	0,191	0,185	0,187
1853	0,190	0,184	0,186
1920	0,190	0,184	0,186
1986	0,190	0,183	0,186
2052	0,190	0,183	0,185
2118	0,189	0,183	0,185
2184	0,189	0,183	0,185
2250	-	0,183	0,184
2317	-	-	-
2383	-	-	-
2449	-	-	-
2515	-	-	-
2581	-	-	-

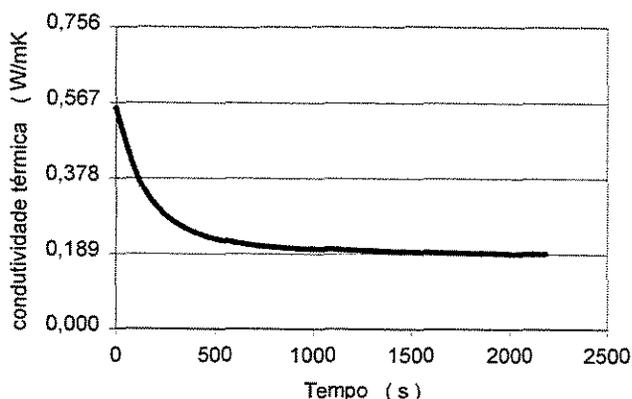


Fig. 5.46 a - Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,35 CPII-

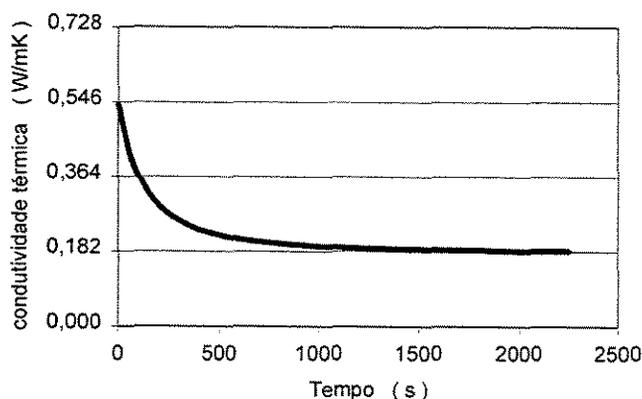


Fig. 5.46 b - Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,35 CPII-

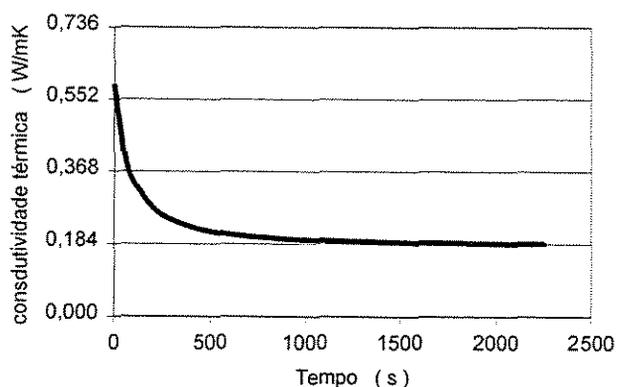


Fig. 5.46 c - Condutividade x tempo - Cp3 1:0,6:1,35 CPII-E

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Traco em massa
1 : 0,6 : 1,42

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,182 \text{ W/mK}$

Tipo de cimento
CPII-E 32

Tabela 5.40 - Condutividade x tempo 1: 0,6: 1,42 CPII-E 32

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,386	0,363	0,390
66	0,341	0,313	0,333
133	0,294	0,277	0,283
199	0,265	0,252	0,261
265	0,245	0,236	0,241
331	0,232	0,224	0,228
397	0,222	0,215	0,215
464	0,215	0,208	0,208
530	0,209	0,204	0,203
596	0,205	0,200	0,201
662	0,202	0,197	0,200
728	0,200	0,194	0,200
794	0,198	0,192	0,198
861	0,195	0,191	0,197
927	0,194	0,190	0,196
993	0,192	0,190	0,195
1059	0,192	0,188	0,194
1125	0,190	0,187	0,193
1192	0,190	0,186	0,192
1258	0,189	0,185	0,191
1324	0,188	0,184	0,191
1390	0,188	0,184	0,190
1456	0,187	0,183	0,189
1522	0,187	0,182	0,188
1589	0,187	0,181	0,187
1655	0,186	0,181	0,186
1721	0,185	0,182	0,185
1787	0,186	0,182	0,184
1853	0,186	0,181	0,184
1920	0,186	0,181	0,184
1986	0,186	0,179	0,184
2052	0,185	-	0,183
2118	0,184	-	0,183
2184	0,184	-	0,182
2250	0,184	-	-
2317	0,184	-	-
2383	0,184	-	-
2449	-	-	-
2515	-	-	-
2581	-	-	-

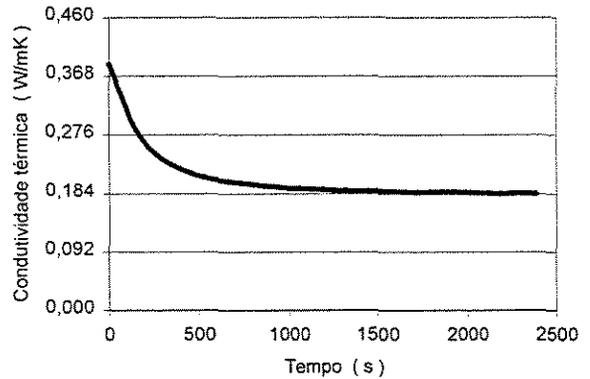


Fig. 5.47 a - Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,42 CPII-

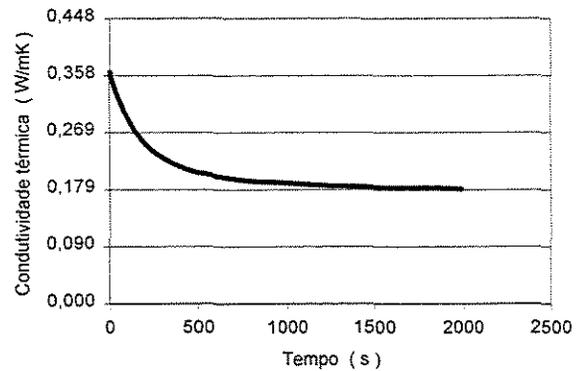


Fig. 5.47 b - Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,42 CPII-

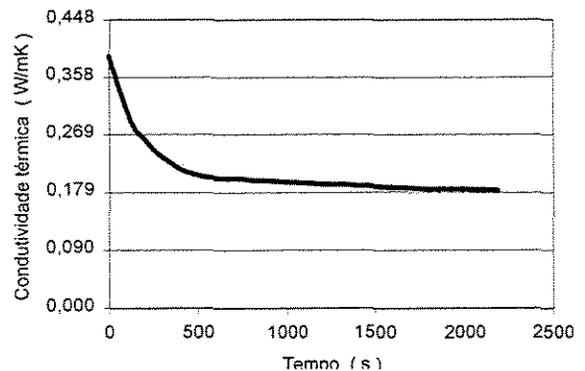


Fig. 5.47 c - Condutividade x tempo - Cp3 1:0,6:1,42 CPII-E

Tipo de argamassa
agregado vegetal

Trço em massa
1 : 0,6 : 1,50

Condutividade média
 $\lambda_m = 0,182 \text{ W/mK}$

Tipo de cimento
CPII-E 32

Tabela 5.41 - Condutividade x tempo 1:0,6:1,50 CPII-E 32

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	0,419	0,354	0,432
66	0,375	0,336	0,353
133	0,317	0,292	0,307
199	0,281	0,263	0,265
265	0,257	0,244	0,245
331	0,240	0,231	0,235
397	0,228	0,221	0,225
464	0,219	0,214	0,213
530	0,213	0,208	0,211
596	0,209	0,203	0,209
662	0,205	0,199	0,207
728	0,201	0,197	0,205
794	0,199	0,195	0,201
861	0,198	0,193	0,201
927	0,197	0,191	0,199
993	0,196	0,190	0,194
1059	0,192	0,189	0,193
1125	0,190	0,189	0,192
1192	0,190	0,188	0,191
1258	0,189	0,187	0,190
1324	0,189	0,186	0,189
1390	0,188	0,185	0,189
1456	0,187	0,185	0,188
1522	0,187	0,184	0,188
1589	0,187	0,184	0,188
1655	0,187	0,183	0,187
1721	0,188	0,183	0,186
1787	0,187	0,182	0,186
1853	0,186	0,182	0,185
1920	0,186	0,182	0,184
1986	0,186	0,182	0,183
2052	0,186	0,182	0,183
2118	0,186	0,181	0,183
2184	0,185	0,181	0,182
2250	0,184	0,180	-
2317	0,184	0,180	-
2383	-	0,179	-
2449	-	0,179	-
2515	-	0,179	-
2581	-	-	-

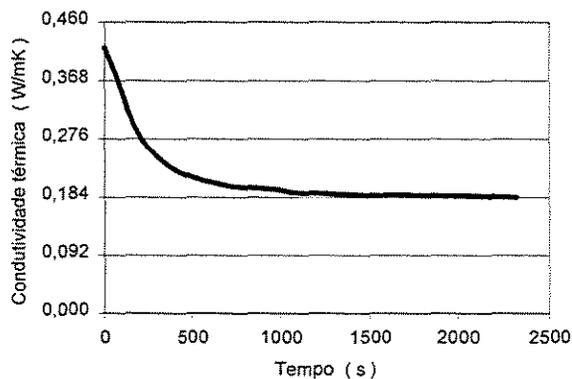


Fig. 5.48 a - Condutividade x tempo - Cp1 1:0,6:1,50 CPII-

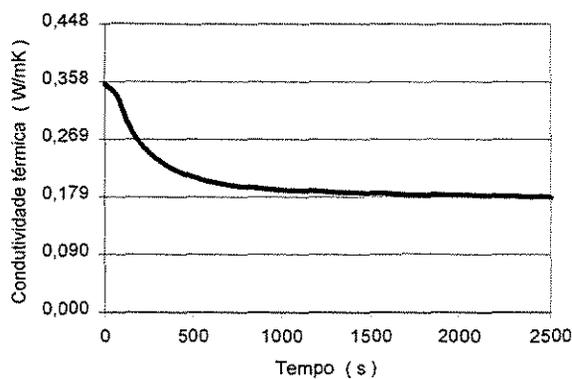


Fig. 5.48 b - Condutividade x tempo - Cp2 1:0,6:1,50 CPII-

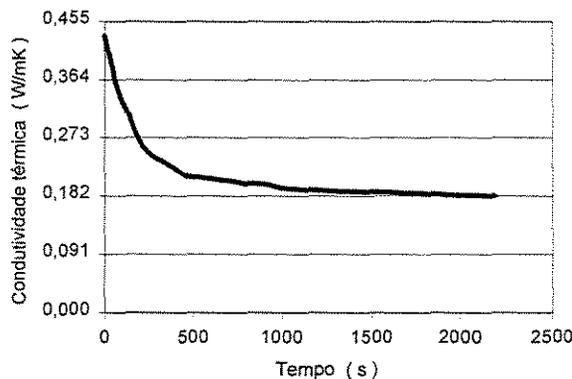


Fig. 5.48 c - Condutividade x tempo - Cp3 1:0,6:1,50 CPII-E

Argamassa convencional

Tabela 5.42 - Condutividade térmica em Argamassa convencional

tipos de areia: fina quartzosa
fina siltosa
média quartzosa

Traço Argamassa convencional (cimento : areia : água)		Condutividade térmica (W/m K)	Massa específica aparente - seco (kg/m ³)
		CPII - E 32 MPa	
Areia fina quartzosa 1 : 3 : 0,80	Cp1	0,946	1828
	Cp2	0,965	
	Cp3	0,926	
	$\bar{\lambda}$	0,946	
Areia fina siltosa 1 : 3 : 0,62	Cp1	1,130	1928
	Cp2	1,050	
	Cp3	1,104	
	$\bar{\lambda}$	1,095	
Areia média quartzosa 1 : 3 : 0,63	Cp1	1,170	2001
	Cp2	1,180	
	Cp3	1,174	
	$\bar{\lambda}$	1,175	

A seguir, tem-se a representação gráfica dos resultados dos ensaios de condutividade térmica da argamassa com agregado convencional para três diferentes tipos de areia: fina siltosa, média quartzosa, fina quartzosa (cimento CPII-E 32).

Tipo de argamassa
areia fina siltosa

Traço em massa
1 : 3 : 0,62

Condutividade média
 $\lambda_m = 1,095$ W/mK

Tipo de cimento
CPII-E 32

Tabela 5.44 - Condutividade x tempo 1 : 3 : 0,62 CPII-E 32

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	1,985	1,875	2,023
27	1,722	1,706	1,836
60	1,483	1,486	1,595
93	1,355	1,363	1,450
126	1,275	1,286	1,362
159	1,227	1,235	1,302
192	1,201	1,205	1,265
225	1,185	1,183	1,227
258	1,171	1,161	1,202
291	1,166	1,145	1,194
325	1,161	1,137	1,182
358	1,156	1,125	1,162
391	1,155	1,119	1,157
424	1,150	1,110	1,163
457	1,149	1,102	1,157
490	1,145	1,092	1,162
523	1,146	1,092	1,152
556	1,143	1,088	1,147
589	1,141	1,083	1,140
622	1,140	1,079	1,135
656	1,139	1,072	1,133
689	1,137	1,072	1,128
722	1,136	1,068	1,126
755	1,138	1,066	1,124
788	1,135	1,063	1,119
821	1,136	1,058	1,117
854	1,133	1,057	1,114
887	1,133	1,055	1,114
920	1,129	1,051	1,110
954	1,128	1,049	1,107
987	1,134	1,047	1,108
1020	1,129	1,050	1,105
1053	1,129	-	1,104
1086	1,130	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

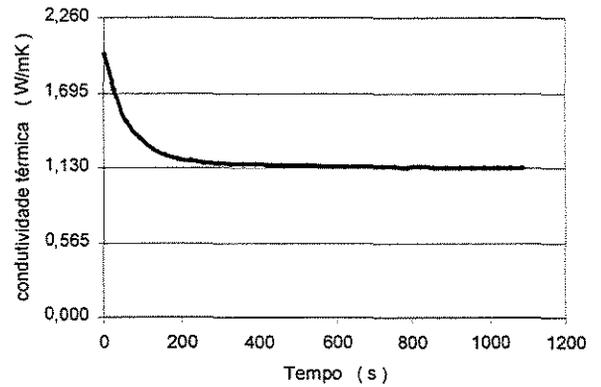


Fig. 5.50 a - Condutividade x tempo - Cp1 1 : 3 : 0,62 CPII-

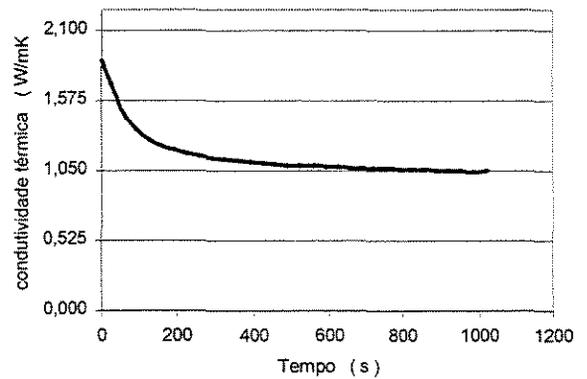


Fig. 5.50 b - Condutividade x tempo - Cp2 1 : 3 : 0,62 CPII-

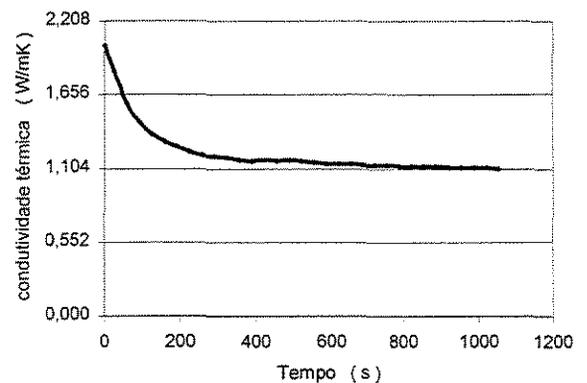


Fig. 5.50 c - Condutividade x tempo - Cp3 1 : 3 : 0,62 CPII-

Tipo de argamassa
areia média quartzosa

Traco em massa
1 : 3 : 0,63

Condutividade média
 $\lambda_m = 1,175 \text{ W/mK}$

Tipo de cimento
CPII-E 32

Tabela 5.45 - Condutividade x tempo 1:3:0,63 CPII-E 32

Tempo (s)	Condutividade térmica (W/mK)		
	Cp1	Cp2	Cp3
0	2,223	2,014	1,743
27	1,966	1,824	1,567
60	1,647	1,576	1,446
93	1,434	1,420	1,354
126	1,353	1,332	1,299
159	1,300	1,275	1,259
192	1,266	1,240	1,240
225	1,250	1,220	1,222
258	1,232	1,205	1,213
291	1,226	1,197	1,203
325	1,214	1,189	1,199
358	1,207	1,185	1,193
391	1,204	1,184	1,190
424	1,198	1,182	1,186
457	1,198	1,180	1,184
490	1,194	1,180	1,181
523	1,193	1,179	1,181
556	1,188	1,178	1,177
589	1,187	1,180	1,174
623	1,184	-	-
656	1,185	-	-
689	1,183	-	-
722	1,181	-	-
755	1,182	-	-
788	1,181	-	-
821	1,181	-	-
854	1,178	-	-
887	1,179	-	-
920	1,176	-	-
954	1,176	-	-
987	1,172	-	-
1020	1,172	-	-
1053	1,173	-	-
1086	1,171	-	-
1119	1,171	-	-
1152	1,170	-	-
1185	1,170	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

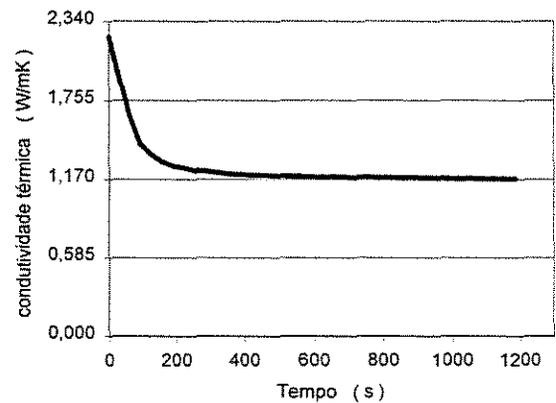


Fig. 5.51 a - Condutividade x tempo - Cp1 1:3:0,63 CPII-E

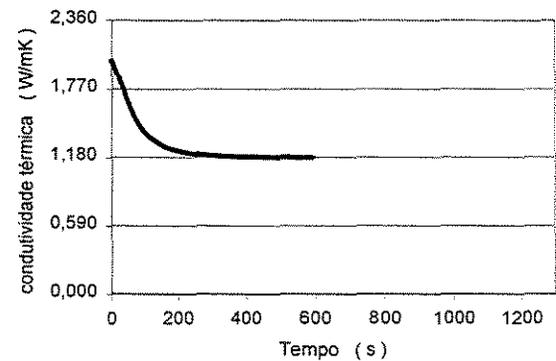


Fig. 5.51 b - Condutividade x tempo - Cp2 1:3:0,63 CPII-E

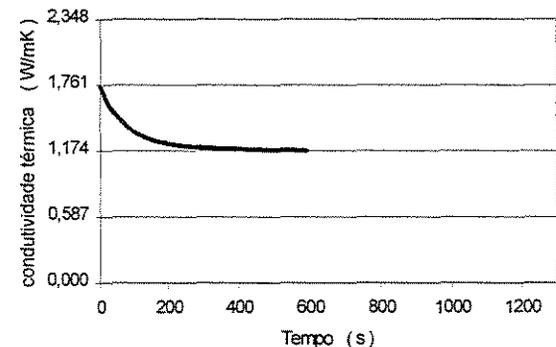


Fig. 5.51 c - Condutividade x tempo - Cp3 1:3:0,63 CPII-E

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 Análise dos ensaios de caracterização do agregado vegetal

Os ensaios de granulometria representados pela figuras 5.1, 5.3 e 5.5, mostram as porcentagens de agregado retido nas peneiras. Observou-se nos ensaios realizados uma maior concentração de massa do agregado retido nas peneiras entre 1,2 mm - 0,3 mm, responsável por um total, em média, de 82,9 % do valor ensaiado. Considerando-se que este intervalo representa a porcentagem do teor de finos em relação à granulometria da areia, a superfície específica do agregado é consideravelmente maior, exigindo um maior consumo de água na elaboração da mistura da argamassa, conferindo menores valores de resistência mecânica para a argamassa leve com agregado vegetal.

A faixa granulométrica do agregado, contendo maiores teores de finos ($\cong 83\%$), torna a mistura pouco trabalhável, dificultando o processo de moldagem da argamassa. Uma das vantagens, no entanto, é a facilidade de preparação no processo de peneiramento, considerando-se que todas as partículas com diâmetros menores que 4,8 mm serão utilizadas na confecção da argamassa, agilizando sua produção e pronta utilização.

A adição do teor de água na mistura, embora necessária, propicia sua exsudação, facilmente observada na utilização dos traços: 1:0,4:1,10 - 1:0,4:1,18 - 1:0,4:1,36 - 1:0,6:1,38 - 1:0,6:1,42 e 1:0,6:1,50. A absorção inicial de água pelas partículas de madeira tem grande influência no processo de mistura da argamassa, alterando significativamente sua consistência e homogeneização.

A utilização de uma faixa granulométrica com maiores teores em massa de grãos com diâmetros maiores, possibilitaria a diminuição do teor de água da mistura e melhores valores para resistência mecânica; exemplificada teoricamente na faixa granulométrica localizada entre as peneiras 4,8 mm - 1,2 mm (figura 6.1) .

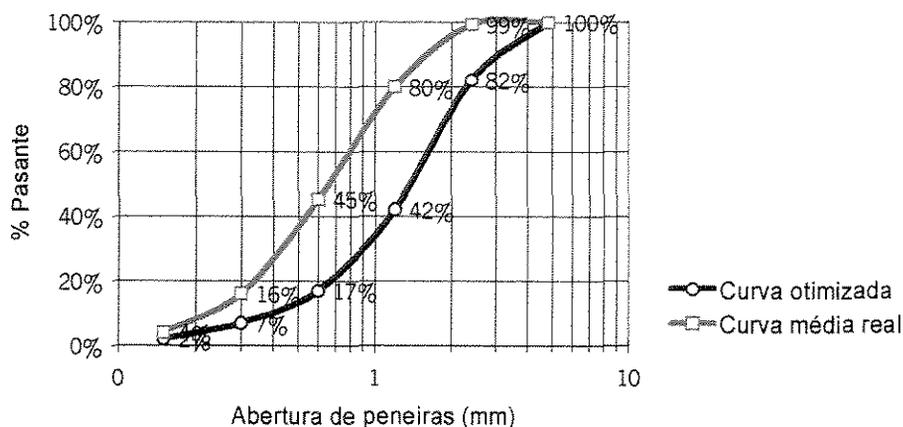
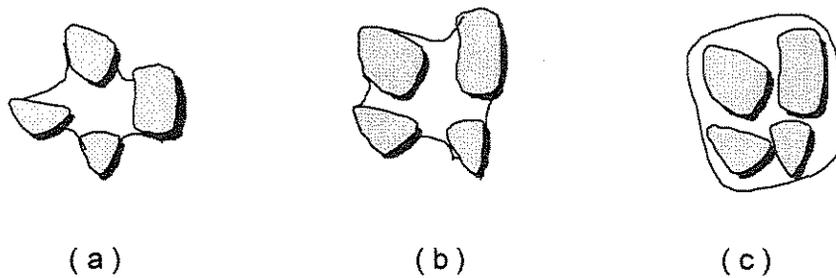


Figura 6.1 - Otimização teórica para a granulometria do agregado vegetal

A curva otimizada deslocou o traçado da curva média real, determinada pelos ensaios de granulometria, para o lado direito do gráfico, apresentando maiores teores das partículas com diâmetros maiores retidas nas peneiras de malha com maior abertura. Nesse caso particular, com a diminuição da relação A/C aumenta-se a quantidade da pasta cimentícia e, conseqüentemente as propriedades mecânicas da argamassa, melhorando sua consistência.

Através dos gráficos determinados pelos ensaios de inchamento e expansão do agregado vegetal, observou-se a expansão do agregado até o ponto de saturação máxima, ocorrido após o incremento médio aproximado de 650 g de água. A partir de um teor médio para a umidade inicial do agregado de 10,2% , obteve-se uma expansão média máxima de 27,2% , a partir desse valor o volume diminuiu a medida que a água era adicionada (figuras 5.7 , 5.8 e 5.9).

Uma explicação para o fenômeno é que, os poros das partículas de madeira absorvem a água após cada incremento, até atingir o ponto de saturação, em torno de 27 %. Nesse instante encontram-se completamente saturadas. Após um novo incremento a água excedente passa a ocupar os vazios existentes entre as partículas do agregado (figura 6.2).



- (a) partículas do agregado parcialmente cheias
- (b) ponto de saturação das partículas
- (c) água excedente ocupando o volume de vazios entre as partículas

Figura 6.2 - Seqüência da expansão do agregado vegetal no ensaio de inchamento/expansão

A determinação da massa específica para o agregado vegetal, feita através de dois ensaios distintos, apresentou significativa diferença entre os valores obtidos. O valor determinado pelo frasco Chapman correspondeu a $1,442 \text{ kg/cm}^3$ e pelo massa específica dos grãos de solo a $1,833 \text{ kg/cm}^3$. O princípio de ambos os ensaios baseia-se na quantidade de agregado ocupado em um certo volume, correspondente ao volume do líquido deslocado (álcool), em um recipiente de volume conhecido. Porém, o ensaio da massa específica dos grãos utiliza um dispositivo de bomba de vácuo, capaz de eliminar boa parte do ar contido entre as partículas do sólido. Por essa razão, o volume unitário medido é obrigatoriamente menor em relação ao ensaio do frasco de Chapman e, pela razão inversa entre a massa e o volume, o valor para a massa específica é maior. Os resultados dos ensaios apresentaram uma diferença significativa em relação à areia, usualmente utilizada em argamassas.

6.2 Avaliação da resistência mecânica da argamassa leve com agregado vegetal

O procedimento do processo de cura da argamassa foi um fator importante e essencial para que se obtivesse resultados coerentes com a confecção das misturas elaboradas. Em alguns testemunhos para o traço 1:0,4:0,84 CPV-ARI, a cura inicial foi feita a partir do segundo dia após a moldagem, com os corpos de prova sendo colocados em câmara úmida por um período de 14 dias. Os resultados obtidos para resistência à compressão, apresentaram, em média, a metade do valor da resistência quando comparados com as amostras curadas logo após a desmoldagem. Devido ao seu alto teor de porosidade a mesma capacidade de absorver a água que a argamassa, possui, também, de perder água para o meio ambiente. Assim, a água de amassamento pode ser perdida caso não se processe a cura inicial, de fundamental importância para a manutenção de resistência final da argamassa.

Os valores dos ensaios para a determinação da resistência mecânica à compressão e à tração, para todos os traços adotados, foram resumidos nas tabelas 5.10 , 5.11 , 5.12 e 5.13 . A seqüência dos resultados médios, encontrados para cada tipo de traço definido, determinaram uma tendência significativa da resistência à compressão e à tração com a relação A/C da argamassa com agregado vegetal. Essa relação foi representada através das figuras descritas a seguir.

- Para a argamassa com agregado vegetal no traço 1 : 0,4 : X
Compressão \Rightarrow Fig. 5.10 - CPV-ARI e Fig.5.11 - CPII-E
Tração \Rightarrow Fig. 5.14 - CPV-ARI e Fig.5.15 - CPII-E
- Para a argamassa com agregado vegetal no traço 1 : 0,6 : X
Compressão \Rightarrow Fig. 5.12 - CPV-ARI e Fig.5.13 - CPII-E
Tração \Rightarrow Fig. 5.17 - CPV-ARI e Fig.5.17 - CPII-E

Graficamente, possibilitaram a comparação entre traços diferentes com tipos diferentes de cimento. Observou-se que, as curvas das figuras 6.3 e 6.4 evidenciaram uma razão inversa entre os valores da resistência mecânica e a relação A/C da argamassa e, uma diferença significativa entre os valores de resistência para determinados traços, considerando-se a utilização dos dois tipos de cimento (CPV-ARI e CPII-E 32).

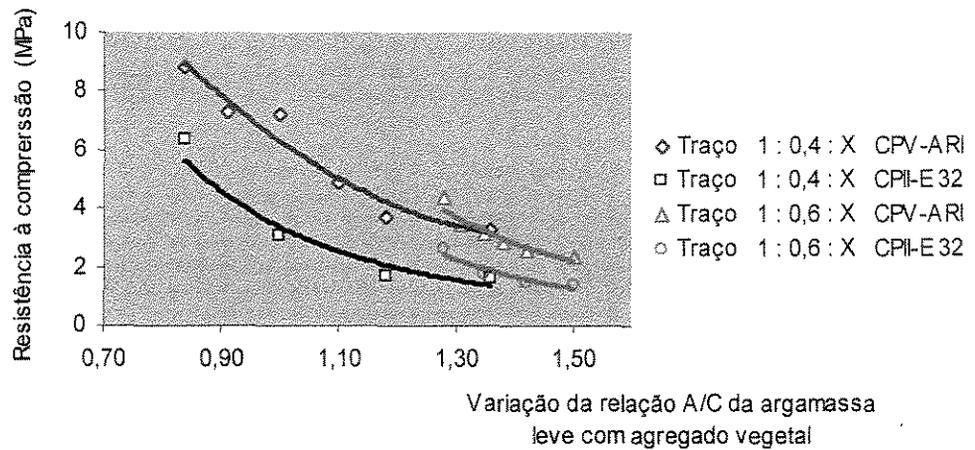


Figura 6.3 - Variação da resistência à compressão com a relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal: utilização de dois tipos de traços 1:0,4:X e 1:0,6:X

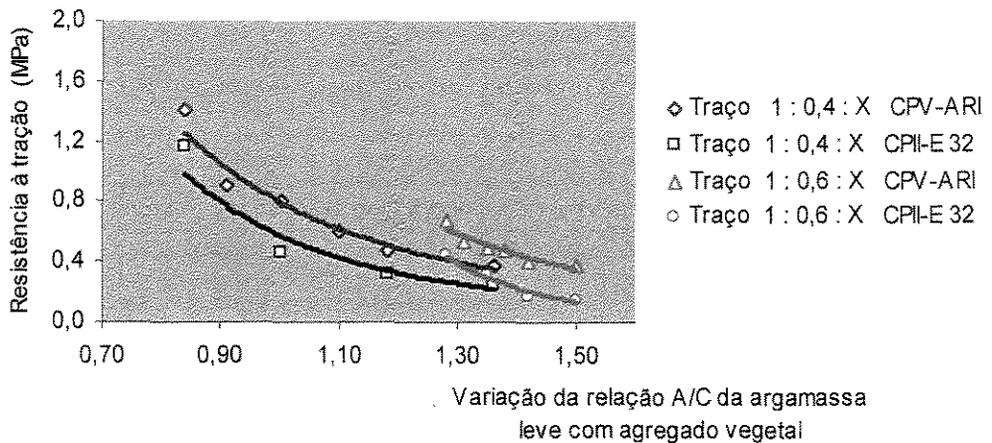


Figura 6.4 - Variação da resistência à tração com a relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal: utilização de dois tipos de traços 1:0,4:X e 1:0,6:X

As curvas apresentadas nas fig. 6.3 e 6.4 foram elaboradas através do editor gráfico Excel® pela regressão matemática dos valores médios determinados, apresentando linhas de tendência de curvas na forma de potência de 2ª ordem, com as seguintes aproximações por traço de argamassa :

	Traço		Tipo de cimento	R ²	Aproximação
• Resistência à compressão					
1-	<u>1 : 0,4 : X</u>	-	CPV-ARI	0,95	97,26 %
2-	<u>1 : 0,4 : X</u>	-	CPII-E 32	0,92	95,74 %
3-	<u>1 : 0,6 : X</u>	-	CPV-ARI	0,96	97,89 %
4-	<u>1 : 0,6 : X</u>	-	CPII-E 32	0,87	93,00 %
• Resistência à tração					
1-	<u>1 : 0,4 : X</u>	-	CPV-ARI	0,97	98,31 %
2-	<u>1 : 0,4 : X</u>	-	CPII-E 32	0,93	96,56 %
3-	<u>1 : 0,6 : X</u>	-	CPV-ARI	0,94	97,03 %
4-	<u>1 : 0,6 : X</u>	-	CPII-E 32	0,99	99,55 %

Tendência confirmada pela análise estatística, através da realização dos testes de significância, teste F e teste de Tukey a 1% de probabilidade, para compressão e tração respectivamente:

	Traço		Tipo de cimento	Teste F	Teste de Tukey
• Resistência à compressão					
1-	<u>1 : 0,4 : X</u>	-	CPV-ARI	0,1 %	a-b-b-c-d-d
2-	<u>1 : 0,4 : X</u>	-	CPII-E 32	0,1 %	a-b-c-c
3-	<u>1 : 0,6 : X</u>	-	CPV-ARI	0,1 %	a-b-bc-cd-de-e
4-	<u>1 : 0,6 : X</u>	-	CPII-E 32	0,1 %	a-b-c-c
• Resistência à tração					
1-	<u>1 : 0,4 : X</u>	-	CPV-ARI	0,1 %	a-b-b-c-cd-d
2-	<u>1 : 0,4 : X</u>	-	CPII-E 32	0,1 %	a-b-c-c
3-	<u>1 : 0,6 : X</u>	-	CPV-ARI	0,1 %	a-b-bc-c-d-d
4-	<u>1 : 0,6 : X</u>	-	CPII-E 32	0,1 %	a-b-bc-c

Análise estatística dos resultados

Interpretando estatisticamente os resultados, verifica-se que pelo teste F, existe a probabilidade 0,1% de que os valores de condutividade térmica, para todos os traços da argamassa com agregado vegetal, tenham ocorrido por acaso. O teste de Tukey indica que os traços com a mesma letra não possuem diferença significativa em seu valor de condutividade. Portanto, tem-se:

- **Para o Traço do tipo 1 : 0,4 : X com CPV-ARI**

Compressão

$$1:0,4:0,84 \neq 1:0,4:0,91 = 1:0,4:1,00 \neq 1:0,4:1,10 \neq 1:0,4:1,18 = 1:0,4:1,36$$

tração

$$1:0,4:0,84 \neq 1:0,4:0,91 = 1:0,4:1,00 \neq 1:0,4:1,10 = 1:0,4:1,18 = 1:0,4:1,36$$

- **Para o Traço do tipo 1 : 0,4 : X com CPH-E 32**

Compressão

$$1:0,4:0,84 \neq 1:0,4:1,00 \neq 1:0,4:1,18 = 1:0,4:1,36$$

tração

$$1:0,4:0,84 \neq 1:0,4:1,00 \neq 1:0,4:1,18 = 1:0,4:1,36$$

- **Para o Traço do tipo 1 : 0,6 : X com CPV-ARI**

Compressão

$$1:0,4:0,84 \neq 1:0,4:0,91 = 1:0,4:1,00 = 1:0,4:1,10 = 1:0,4:1,18 = 1:0,4:1,36$$

tração

$$1:0,4:0,84 \neq 1:0,4:0,91 = 1:0,4:1,00 = 1:0,4:1,10 \neq 1:0,4:1,18 = 1:0,4:1,36$$

Para o Traço do tipo 1 : 0,6 : X com CPH-E 32

Compressão

$$1:0,4:0,84 \neq 1:0,4:1,00 \neq 1:0,4:1,18 = 1:0,4:1,36$$

tração

$$1:0,4:0,84 \neq 1:0,4:1,10 = 1:0,4:1,18 = 1:0,4:1,36$$

Através de um trabalho com argamassas, BOLORINO & CINCOTTO (1997)⁶⁸ avaliaram argamassas mistas no traço em massa 1 : 1 : 6 (cimento : cal : areia fina), com vários tipos de cimento, entre os quais o CPV-ARI e CII-E 32, obtendo os seguintes valores para a resistência à compressão e à tração:

Resistência à compressão

CPV-ARI aos 14 dias \cong 7,0 MPa

CII-E 32 aos 28 dias \cong 6,0 MPa

Resistência à tração

CPV-ARI aos 14 dias \cong 0,20 MPa

CII-E 32 aos 28 dias \cong 0,18 MPa

Comparativamente, entre os melhores resultados para resistência à compressão da argamassa com agregado vegetal, o valor correspondente ao traço 1:0,4:0,84 para o dois tipos de cimento e do traço 1:0,4:1,00 para o cimento CPV-ARI se aproximaram dos valores correspondentes para argamassa mista, como pode-se observar na fig. 6.5. A quantidade do teor do agregado vegetal ou da relação A/C, para diversos tipos de cimento, influenciam no valor determinado para a resistência da argamassa. Em decorrência, um estudo de dosagem para a argamassa leve com agregado vegetal pode indicar os traços que melhor reproduzem as condições necessárias ao seu desempenho frente às solicitações de compressão. Importante observar que o consumo médio de cimento para a argamassa leve foi de 350 kg/m³.

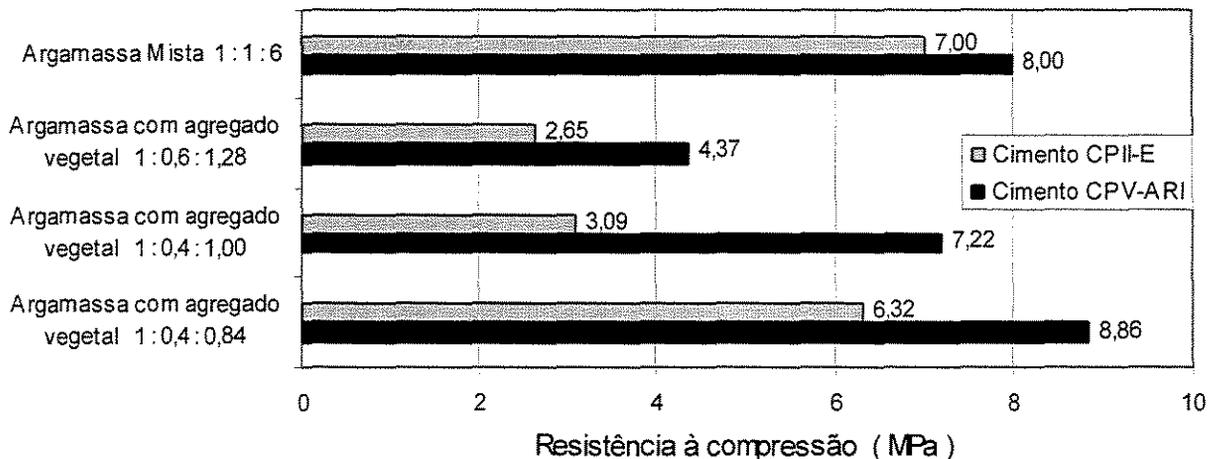


Figura 6.5 - Comparação dos valores de resistência à compressão da argamassa mista e dos valores de alguns traços da argamassa leve com agregado vegetal: 1:0,4:0,84 - 1:0,4:1,00 - 1:0,6:1,28 (CPV-ARI e CII-E)

Em contrapartida, para estes mesmos traços, os valores obtidos com a realização dos ensaios de tração na compressão diametral para a argamassa com agregado vegetal, apresentaram valores muito superiores em comparação aos valores obtidos para a argamassa mista (fig. 6.6). A capacidade da argamassa com agregado vegetal de resistir aos esforços de tração é devida à somatória da capacidade individual das partículas de madeira do agregado vegetal, que produzem um efeito conjunto de resistência à tração na argamassa.

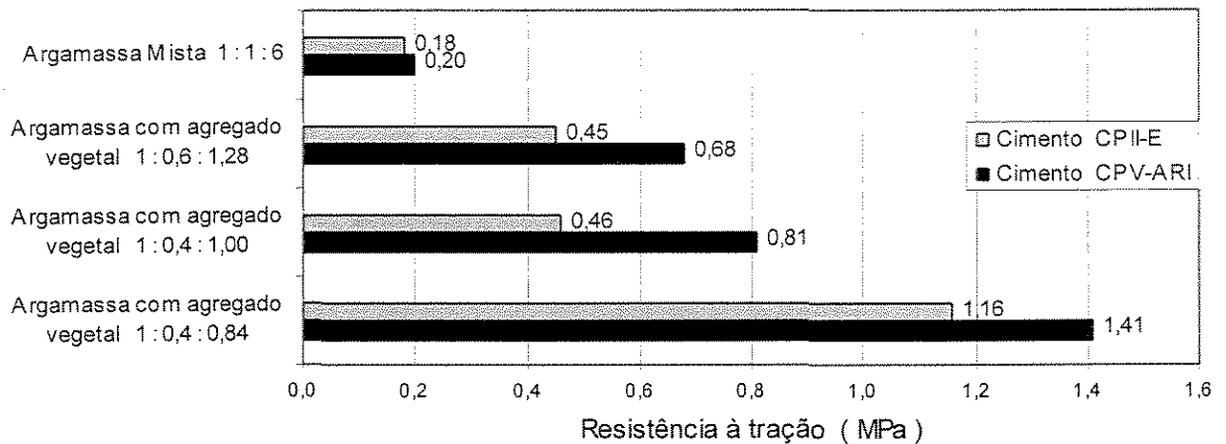


Figura 6.6 - Comparação entre os valores de resistência à tração da argamassa mista e dos valores de alguns traços da argamassa leve com agregado vegetal: 1:0,4:0,84 - 1:0,4:1,00 - 1:0,6:1,28 (CPV-ARI e CII-E)

Durante o processo de secagem da argamassa leve com agregado vegetal, não se observou aparecimento de fissuras devido à retração, uma vez que as partículas do agregado beneficiaram a argamassa aumentando sua capacidade de absorver as tensões durante este processo, comportamento característico de argamassas com baixo módulo de elasticidade.

6.3 Análise da absorção de água nas argamassas por capilaridade

Nas figuras 6.7 e 6.8 observa-se que os traços com maior relação A/C na mistura apresentaram maior absorção capilar. As argamassas de mesmo traço moldadas com cimento CPV-ARI apresentaram menor absorção em relação às com CII-E 32. A maior quantidade de finos (filler) presentes no cimento CPV-ARI diminui o diâmetro dos poros capilares contidos na argamassa, reduzindo a absorção de água .

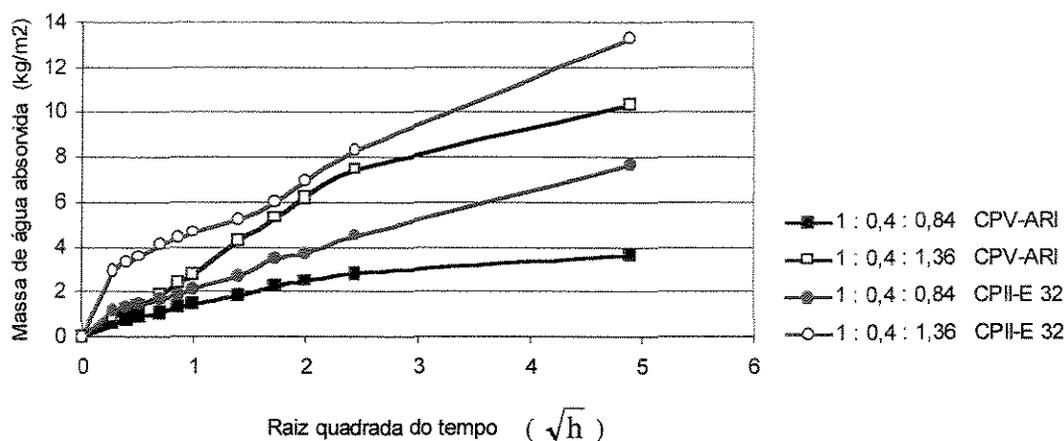


Figura 6.7 - Absorção de água por capilaridade da argamassa leve com agregado vegetal: traços do tipo 1 : 0,4 : X (CPV-ARI e CII-E 32)

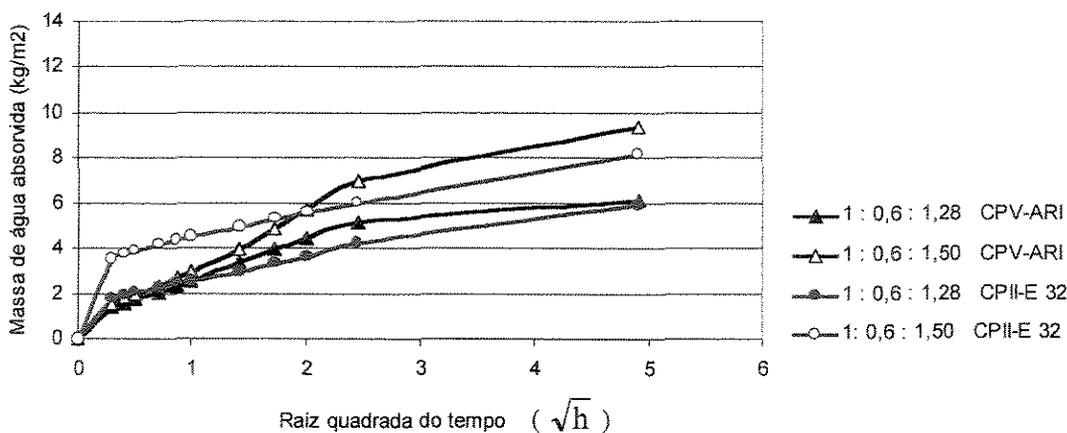


Figura 6.8 - Absorção de água por capilaridade da argamassa leve com agregado vegetal: traços do tipo 1 : 0,6 : X (CPV-ARI e CII-E 32)

Na comparação entre as argamassas, foi analisada a capacidade de absorção em massa das argamassas em relação à massa inicial da amostra. Foram utilizados os resultados obtidos dos ensaios de absorção conforme as tabelas 5.14, 5.16 e 5.18. O cálculo dos valores foram feitos com a relação entre o total de água em massa absorvido por amostra e a massa inicial da amostra, após o intervalo de 24 horas. Os resultados foram expressos em porcentagem, conforme relação a seguir:

Argamassa leve com agregado vegetal

Traço	Absorção em massa CPV-ARI	Absorção em massa CII-E
1 : 0,4 : 0,84	4,14 %	8,65 %
1 : 0,4 : 1,36	13,43 %	20,98 %
1 : 0,6 : 1,28	9,05 %	8,84 %
1 : 0,6 : 1,50	14,80 %	14,43 %
Média = 10,36 %		Média = 13,23 %

Argamassa convencional (cimento e areia)

Traço	Absorção em massa CII-E
1 : 3 : 0,80	4,52 %
1 : 3 : 0,62	3,57 %
1 : 3 : 0,63	4,84 %
Média = 4,31 %	

A argamassa leve com agregado vegetal apresentou absorção média, em massa, situada entre 10,36 - 13,23 % em comparação à media em massa de 4,31 % da argamassa convencional. Para os traços adotados, mostra, aproximadamente o dobro da capacidade de absorção em relação à argamassa convencional, fato atribuído à grande porosidade obtida no processo de mistura e à capacidade de absorção de água das partículas de madeira.

Outro parâmetro de comparação, utilizado através do ensaio de absorção, foi baseado na altura de penetração de água das amostras. Após a realização do tempo total de ensaio de 24 horas, foi verificada a altura de penetração através da ruptura diametral das amostras das argamassas. Os resultados da tabela 5.18 foram representados na figura 6.9.

A média das alturas de penetração da argamassa com agregado vegetal foi de 2,26 cm e a da argamassa convencional de 4,90 cm, representando aproximadamente a metade do valor. Através desses resultados, verifica-se a ocorrência de dois conceitos distintos. O primeiro é a capacidade de absorção em massa por massa da amostra, que depende da quantidade máxima absorvida pelo material ao longo do ensaio, existindo outros fatores responsáveis pela absorção, além dos poros capilares, como por exemplo, a capacidade de absorção pelas partículas de madeira. O segundo refere-se à altura de penetração; nesse caso, a absorção de água é atribuída, essencialmente, ao efeito capilar dos poros, prevalecendo seu diâmetro e as interligações com outros poros. Dessa maneira, um material que possui maior capacidade de absorção em massa não possui necessariamente maior altura de penetração e vice-versa.

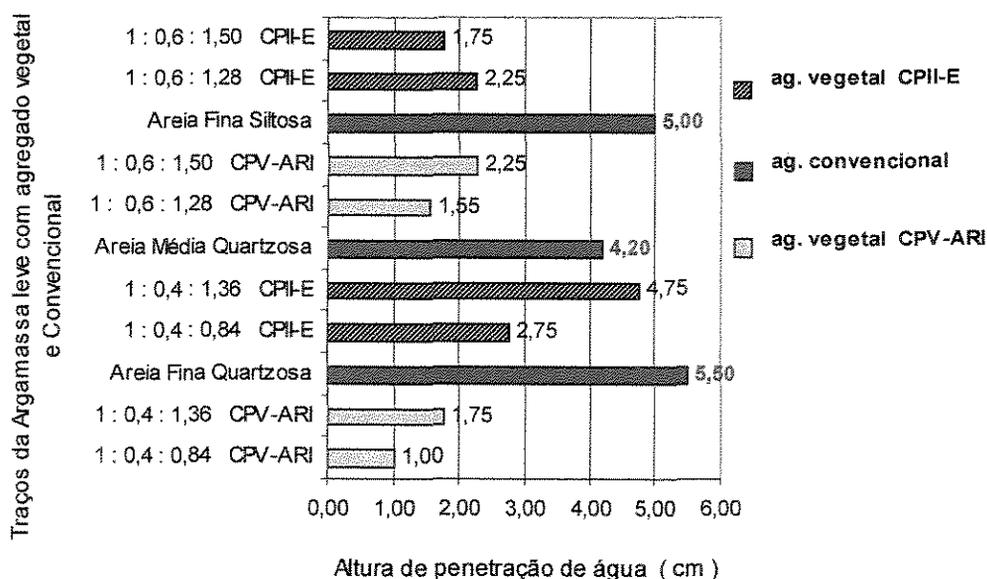


Figura 6.9 - Altura de penetração de água por absorção capilar para a argamassa leve com agregado vegetal e argamassa convencional

6.4 Condutividade térmica da argamassa: método fluximétrico

A condutividade térmica, em geral, é determinada em regime permanente. Utilizam-se de métodos com processo de longa duração, podendo levar 4 horas para que se alcance o regime em laboratório e, ultrapassando em até 24 horas para as medições realizadas em campo. O tempo de duração para as amostras de argamassa vegetal, utilizando-se o método fluximétrico, variaram em média de 30 a 40 minutos por ensaio, representando um ótimo desempenho para o método proposto, minimizando a interferência do fator umidade, característico dos materiais porosos. Importante observar que, quanto maior for o tempo de duração, maior será a possibilidade de redistribuição de umidade da matriz porosa.

A sensibilidade e a pouca dispersão das leituras feitas pelos fluxímetros estão representadas nos gráficos de Condutividade x Tempo, referentes a todos os ensaios realizados, evidenciando um processo contínuo de medição. O programa elaborado possibilitou o cálculo contínuo da densidade de fluxo térmico e, conseqüentemente, do valor da condutividade térmica. Através do sistema de aquisição de sinais observa-se claramente a fase transiente do ensaio, com o aumento gradativo do fluxo de calor, e a fase permanente, sem variação de fluxo. Em regime permanente os valores de condutividade convergem para um determinado valor, caracterizado através de uma seqüência de pontos alinhados paralelamente com a abscissa do gráfico (figura 6.10).

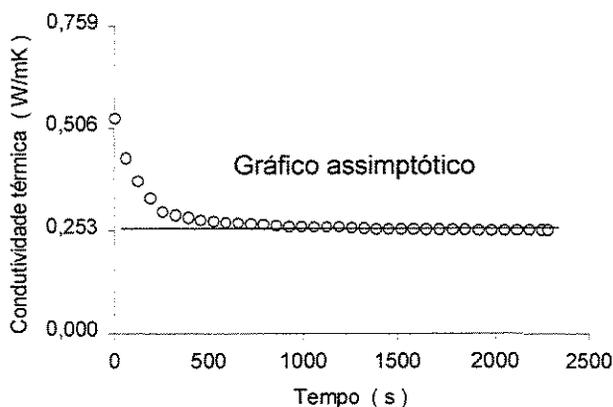


Figura 6.10 - Alinhamento dos pontos em relação à abscissa do gráfico, correspondentes às leituras para o valor de condutividade térmica

O padrão adotado para a realização dos ensaios, utilizando-se o método fluximétrico, foi fundamental para a determinação dos valores de condutividade térmica. As condições de contorno, o condicionamento das amostras e a sua preparação, responsáveis pela diminuição de possíveis erros, são procedimentos básicos e rotineiros, que influenciaram decisivamente nos valores determinados.

Para a manutenção do princípio básico do método fluximétrico, ou seja, a do fluxo térmico unidirecional, é importante observar alguns dispositivos que permitiram a uniformidade nas leituras dos sinais adquiridos, garantindo o fluxo de calor na direção ortogonal ao longo da espessura da amostra:

- Utilização de um isolante térmico, colocado na parte superior da amostra, com a finalidade de evitar a fuga de calor proveniente da placa aquecedora (fig. 4.10).
- Banho termostaticado na placa fria, colocada na parte inferior da amostra, garantido a partir desta superfície uma temperatura constante de 20 °C.
- A instalação de um sistema basculante sobre o dispositivo de medição, através da colocação de um peso que transmite uma pressão correspondente a 0,08 kgf/cm², diminuindo a resistência térmica de contato entre as superfícies.
- A limitação da região de leitura dos fluxímetros, em função da perda de calor pelas extremidades laterais da amostra, caracterizada pelo efeito de borda e conseqüente desvio das linhas de fluxo de calor (figuras 4.12 e 4.13).

Por recomendação da proposta de norma relativa ao método fluximétrico, PROJETO 02:135.07-025⁵⁴, a calibração dos fluxímetros foi efetuada no próprio dispositivo de medição, utilizando-se amostras padrões com valores de condutividade previamente conhecidos. Procedimento este realizado pela equipe técnica do Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas dos Materiais (LMPT) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), antes da execução dos ensaios apresentados neste trabalho. Porém, no que diz respeito à determinação da condutividade térmica das argamassas, a preocupação inicial foi utilizar um método específico para determinar valores relativos, dando ênfase à comparação da ordem de grandeza térmica entre os diferentes tipos de argamassas com valores determinados por um mesmo método de ensaio.

De acordo com RIVERO (1986)³⁹, a condutividade térmica está na razão direta em relação à massa específica aparente de um material, a qual se faz mais estreita e evidente em materiais semelhantes: madeiras, cerâmicas, concretos, etc. Também conforme AKATSU & SATO (1988)³⁸, a condutividade térmica está na razão direta em relação à massa específica dos materiais. Porém, a figura 2.2 ilustra o fato de que materiais com a mesma massa específica não apresentam necessariamente o mesmo valor de condutividade.

Essa relação entre a massa específica aparente e a condutividade térmica, segundo a literatura, é confirmada através do gráfico dos resultados determinados para a argamassa leve com agregado vegetal (figura 6.11). A área do gráfico entre as curvas de linha contínua, delimita a região dos valores de condutividade térmica determinados para as amostras da argamassa, indicando que a condutividade depende estreitamente da massa específica do material.

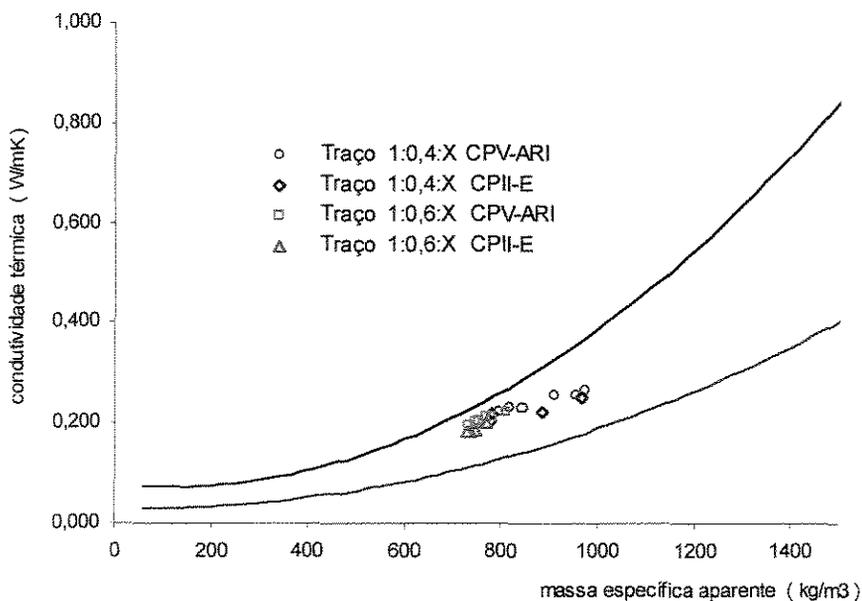


Figura 6.11 - Condutividade térmica x massa específica aparente para os traços da argamassa leve com agregado vegetal

Todos os valores dos ensaios para a determinação de condutividade térmica ao longo do tempo foram representados graficamente através das figuras 5.27 a 5.36, 5.39 a 5.48 e 5.49 a 5.51, incluindo os ensaios com a argamassa convencional, confeccionada com três tipos diferentes de areia. Esse conjunto de valores deu origem à tabela 5.20 (referente aos traços do tipo 1:0,4:X) e à tabela 5.31 (referente aos traços do tipo 1:0,6:X).

Os valores determinados para cada tipo de traço tiveram variações da ordem de até 2,7 %, no máximo, em relação às suas médias, sendo importante observar que foram realizados ensaios em três amostras por traço de argamassa. Na intenção de se avaliar o grau de confiabilidade do método utilizado, foram realizadas cinco determinações sucessivas do valor de condutividade térmica para uma mesma amostra, escolhida de forma aleatória, constatando-se uma variação da ordem de 3 % em relação à média dos valores. Apesar de representar apenas um erro aleatório, se enquadra dentro dos padrões exigidos para as máximas dispersões indicadas por normas técnicas para a medição da condutividade térmica: 3 % pela ASTM C518-85⁵⁵.

A seqüência dos resultados médios encontrados para cada tipo de traço definido, determinou uma tendência significativa da condutividade térmica em relação à variação da relação A/C da argamassa com agregado vegetal. Essa relação foi observada para os diferentes tipos de traços, utilizando-se dois tipos de cimento CPV-ARI e CII-E, representados graficamente segundo a descrição a seguir:

- Para a argamassa com agregado vegetal no traço 1:0,4:X
Fig. 5.25 - CPV-ARI
Fig.5.26 - CII-E 32
- Para a argamassa com agregado vegetal no traço 1:0,6:X
Fig. 5.37 - CPV-ARI
Fig.5.38 - CII-E 32

Observa-se, pela figura 6.12, que todas as curvas do gráfico evidenciaram uma razão inversa entre o valor da condutividade térmica e da relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal. A utilização do tipo de cimento teve significativa influência nos valores de condutividade para um mesmo traço, com o cimento CPV-ARI obteve-se maiores valores em relação ao cimento CII-E 32.

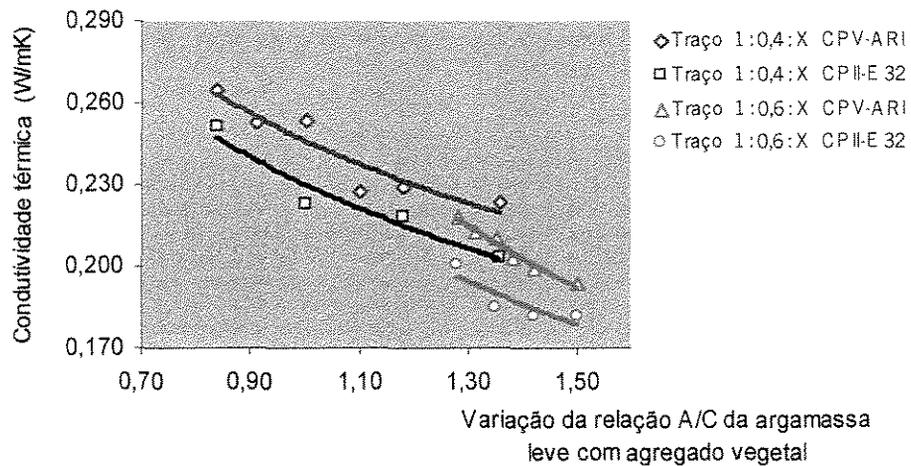


Figura 6.12 - Variação da condutividade térmica com a relação A/C da argamassa leve com agregado vegetal : utilização de dois tipos de traços 1 : 0,4 : X e 1 : 0,6 : X

As curvas apresentadas na figura 6.12, foram elaboradas através do editor gráfico Excel® pela regressão matemática dos valores médios determinados, apresentando linhas de tendência de curvas em forma de potência de 2ª ordem, com as seguintes aproximações por traço de argamassa:

	Traço	Tipo de cimento	R ²	Aproximação
1-	<u>1 : 0,4 : X</u>	- CPV - ARI	0,91	95,26 %
2-	<u>1 : 0,4 : X</u>	- CII – E 32	0,95	97,43 %
3-	<u>1 : 0,6 : X</u>	- CPV – ARI	0,98	99,10 %
4-	<u>1 : 0,6 : X</u>	- CII – E 32	0,74	85,97 %

Tendência confirmada pela análise estatística, através da realização dos testes de significância, teste F e teste de Tukey a 1 % de probabilidade.

	Traço		Tipo de cimento	Teste F	Teste de Tukey
1-	<u>1 : 0,4 : X</u>	-	CPV-ARI	0,1 %	a-b-b-c-c-c
2-	<u>1 : 0,4 : X</u>	-	CPII-E 32	0,1 %	a-b-b-c
3-	<u>1 : 0,6 : X</u>	-	CPV-ARI	0,1 %	a-ab-abc-bcd-cd-d
4-	<u>1 : 0,6 : X</u>	-	CPII-E 32	0,1 %	a-b-b-b

Interpretando estatisticamente os resultados, significa que pelo teste F, existe a probabilidade 0,1% de que os valores de condutividade térmica, para todos os traços da argamassa com agregado vegetal, tenham ocorrido por acaso. O teste de Tukey indica que os traços com a mesma letra não possuem diferença significativa em seu valor de condutividade, sendo assim tem-se:

- **Para o Traço do tipo 1 : 0,4 : X com CPV-ARI**

$$\underline{1:0,4:0,84} \neq \underline{1:0,4:0,91} = \underline{1:0,4:1,00} \neq \underline{1:0,4:1,10} = \underline{1:0,4:1,18} = \underline{1:0,4:1,36}$$

- **Para o Traço do tipo 1 : 0,4 : X com CPII-E 32**

$$\underline{1:0,4:0,84} \neq \underline{1:0,4:1,00} = \underline{1:0,4:1,18} \neq \underline{1:0,4:1,36}$$

- **Para o Traço do tipo 1 : 0,6 : X com CPV-ARI**

$$\underline{1:0,6:1,28} = \underline{1:0,6:1,31} = \underline{1:0,6:1,35} = \underline{1:0,6:1,38} = \underline{1:0,6:1,42} = \underline{1:0,6:1,50}$$

- **Para o Traço do tipo 1 : 0,6 : X com CPII-E 32**

$$\underline{1:0,6:1,28} \neq \underline{1:0,6:1,35} = \underline{1:0,6:1,42} = \underline{1:0,6:1,50}$$

Os valores de condutividade dos ensaios entre as argamassas com agregado vegetal e convencional foram muito significativos. A diferença entre os valores determinados pode ser melhor visualizada através do gráfico de barras (figura 6.13). Vários fatores podem influenciar esses parâmetros, entre eles os diferentes valores de condutividade térmica entre os seus componentes básicos: a areia (10% de umidade) \cong 0,93 W/mK e o *pinus sp* (12% de umidade) \cong 0,14 W/mK; e a maior quantidade de poros presentes na mistura da argamassa com agregado

vegetal, evidenciada pelos valores dos ensaios de absorção de água por capilaridade com valores médios entre 10,18 - 13,23% de absorção em massa, comparados à argamassa convencional com agregado arenoso com valor médio de 4,31% de absorção em massa.

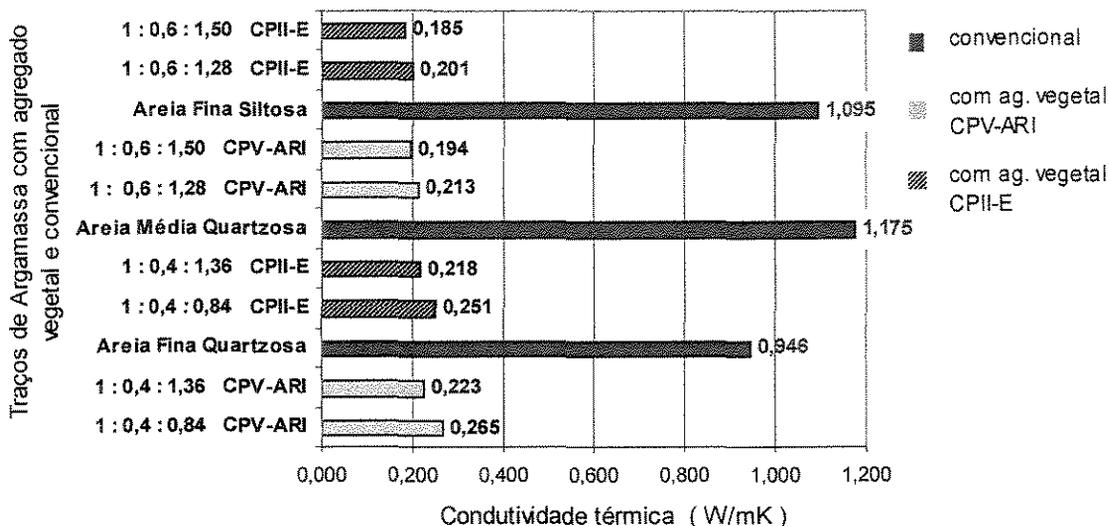


Figura 6.13 - Comparação dos valores de condutividade térmica entre a argamassa leve com agregado vegetal e argamassa convencional (cimento/areia)

Como a maioria dos materiais possuem poros, a baixa condutividade térmica do ar proporciona maior resistência térmica aos materiais leves. Outra variável importante para a condutividade térmica é a umidade. Quando o conteúdo de umidade cresce, a penetração da água no material desloca o ar contido em seus poros, aumentando seu valor de condutividade, considerando-se que o valor de condutividade térmica da água e do ar é, respectivamente, 0,6 e 0,025 W/mK à temperatura ambiente.

No aspecto geral, a medição de condutividade térmica para a argamassa leve evidenciou sua baixa condutividade, situada com valores entre 0,185 - 0,265 W/mK, com boa capacidade isolante, diferentes dos valores obtidos com a argamassa convencional (cimento e areia), com valores situados entre 0,946 - 1,095 W/mK.

Observa-se, pela tabela 6.1, os valores de condutividade térmica, comparando e situando a argamassa leve com agregado vegetal. Observa-se que seus valores são mais próximos aos dos materiais caracteristicamente isolantes térmicos (lã de vidro, isopor, etc.) .

Tabela 6.1 - Valores de massa específica aparente (γ) e condutividade térmica (λ) de materiais utilizados na construção civil

Material	γ (kg/m ³)	λ (W/m.K)
Concreto (com agregados de pedra)		
concreto normal	2200-2400	1,75
concreto cavernoso	1700-2100	1,40
Argamassas		
argamassa comum	1800-2100	1,15
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70
argamassa celular	600-1000	0,40
Cerâmica		
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70
	1300-1600	0,90
	1600-1800	1,00
	1800-2000	1,05
Cimento-amianto		
placas de fibrocimento	1800-2200	0,95
	1400-1800	0,65
Concreto com argila expandida		
dosagem de cimento < 250 kg/m ³	800-1000	0,33
concreto de vermiculita (3 a 6 mm)	600-800	0,31
	400-600	0,24
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24
	500-600	0,20
concreto celular autoclavado	400-500	0,17
Argamassa leve com agregado vegetal		
Traço em massa 1 : 0,4 : X	750-1000	0,20-0,26
Traço em massa 1 : 0,6 : X (cimento : agregado : água)	700-800	0,18-0,22
Isolantes térmicos		
lã de rocha	20-200	0,045
lã de vidro	10-100	0,045
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040
poliestireno expandido (isopor)	25-40	0,035
espuma rígida de poliuretano extrudado	30-40	0,030

* Proposta de Norma Técnica para Conforto Térmico - Projeto 02:135.07-002-1998

6.5 Correlação entre condutividade térmica x resistência mecânica

A composição do gráfico da figura 6.14 foi elaborada através dos resultados de condutividade térmica e resistência à compressão.

A correlação entre a condutividade térmica e a resistência à compressão apresentou, através das curvas da figura 6.14, uma tendência significativa para os tipos de traços adotados de argamassa com agregado vegetal. Através das curvas do gráfico observa-se que, com o aumento do valor da resistência à compressão, aumenta-se o valor da condutividade térmica. Deve-se entender por aumento da resistência mecânica a diminuição da relação A/C da argamassa (figura 6.3), conferindo uma diminuição de porosidade da argamassa, facilitando a passagem do fluxo térmico através do material. A menor quantidade de ar existente nos vazios contido em seus poros diminui a resistência térmica total da argamassa. Essa influência no valor determinado para a condutividade térmica dependerá do tipo de cimento utilizado na confecção da mistura e do teor de agregado vegetal, uma vez que esses fatores influenciam as características mecânicas da argamassa.

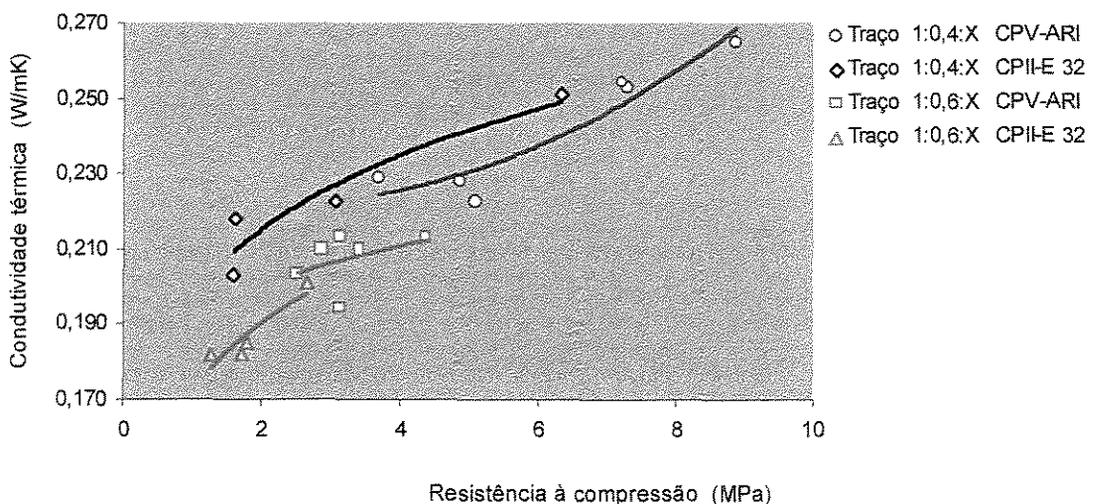


Figura 6.14 - Correlação entre a condutividade térmica e a resistência à compressão

7 DISCUSSÃO E COMENTÁRIOS FINAIS

O trabalho desenvolvido durante a dissertação, permitiu a apresentação de uma técnica aprimorada e atualizada para medição de condutividade térmica de materiais de baixa condutividade, contribuindo para sua normatização como método específico para utilização em materiais empregados na construção civil. De forma simples e prática, o método fluximétrico mostrou-se adequado ao propósito idealizado, o qual seja, a determinação da condutividade térmica em argamassa leve. A confiabilidade, a precisão adquirida através dos valores determinados, a praticidade do manuseio operacional do equipamento e a redução do tempo total de ensaio das amostras em relação aos métodos convencionalmente utilizados, em regime permanente, foram os aspectos mais positivos da metodologia adotada.

Utilizando-se de técnicas fluximétricas, baseadas nas normas da ASTM C518-85⁵⁵, AFNOR NFX10-025⁵⁶ e ISO 8301⁵⁷, o método teve como elemento básico para a determinação da condutividade térmica, a utilização de um termopar acoplado aos fluxímetros, dando a origem à formação de um único dispositivo. Esse artifício, propositadamente construído, permitiu a medição contínua e simultânea do fluxo térmico e das tomadas de temperatura superficiais da amostra, parâmetros com medições distintas. Dentre as possíveis configurações existentes do método, tal dispositivo foi desenvolvido graças à utilização de dois fluxímetros para uma amostra, com as juntas do termopar acopladas uma em cada fluxímetro. Importante observar que, para a utilização correta de um termopar é necessário que o mesmo seja colocado estrategicamente em pontos específicos para tomada das temperaturas, ou seja, nas faces superior e inferior da amostra.

Para o método proposto, embora as condições de contorno fossem satisfatórias em razão da precisão exigida para o tipo de material, foram observados alguns detalhes construtivos, necessários à otimização da utilização do dispositivo de medição. Em decorrência da recente construção do protótipo do equipamento utilizado, sugere-se como exemplo, a adaptação de um dispositivo dotado de um material isolante, para proteção lateral da amostra durante os ensaios evitando-se as fugas de calor por esta região. O aperfeiçoamento da fixação do sistema basculante, dos elementos fluximétricos e placa aquecedora, possibilitaria o fácil manuseio das amostras a cada ensaio realizado.

A metodologia para determinação do parâmetro de condutividade térmica para a argamassa leve e, em especial, a argamassa composta pelo agregado vegetal (pó de serra tratado), representou um estudo objetivo e prático, possibilitando o desenvolvimento de estudos posteriores que podem ser aplicados em outros tipos de materiais alternativos ou usualmente conhecidos. Por tratar-se de um método desenvolvido com tecnologia nacional, alia técnica, rapidez e precisão nas determinações, com grande contribuição para o desenvolvimento e pesquisa na área das ciências dos materiais.

A condutividade térmica é um parâmetro que está relacionado à massa específica aparente do material, de acordo com a literatura. Em decorrência da análise de correlação com outros índices determinados para a argamassa com agregado vegetal, a condutividade pode ser avaliada também através da resistência mecânica, considerando-se outros fatores de influência como umidade, distribuição da porosidade e as propriedades higroscópicas do material. Os ensaios de absorção mostraram que a argamassa convencional, possui maior quantidade de poros capilares interconectados do que argamassa com agregado vegetal, apresentando maior altura de penetração. Por essa e outras razões a argamassa convencional possui maior capacidade de condução de calor.

A utilização do agregado vegetal, como material inovador e reciclável, possibilitou a elaboração de um tipo de argamassa leve, possuindo baixa densidade e baixa condutividade térmica em comparação às argamassas convencionais (agregado arenoso), ou seja, sua característica de leveza aliada à sua capacidade termo-isolante viabiliza sua utilização como

material para enchimento de lajes e contrapisos.

A análise conjunta da resistência mecânica da argamassa com agregado vegetal, apresentou valores significativos, comprovando a possibilidade de melhora em seu desempenho final, como a exploração da boa capacidade da argamassa em resistir aos esforços de tração.

Para viabilizar o emprego do agregado vegetal, é necessário a realização de um estudo aprofundado de sua granulometria, verificando seu desempenho com possíveis composições utilizando-se diversas faixas granulométricas na matriz cimentícia, além de um estudo detalhado sobre dosagem em argamassas, determinando-se os teores para agregado, aglomerante e água. Existem possibilidades de estudos para seu desenvolvimento confeccionando-se traços para argamassas cimentícias, em massa ou volume. Para a caracterização da argamassa determinar-se-iam valores das suas propriedades essenciais: resistência mecânica, aderência, trabalhabilidade e durabilidade, através de ensaios normalizados. O trabalho em questão, possibilitaria a classificação granulométrica adequada à cada traço específico, caracterizando as propriedades da argamassa e suas aplicações. Quanto maior a faixa de variação do agregado e da combinação de suas diversas granulometrias maior serão as quantidades de informações obtidas, viabilizando-se a elaboração de uma tabela de consulta para estudos e aplicações à futuros usuários.

A absorção da argamassa com agregado vegetal, através dos traços estudados, embora apresentem valores duas vezes superiores à absorção média em massa em relação à argamassa convencional, apresentaram metade da penetração da altura de água por capilaridade, visualizada através da ruptura diametral dos corpos-de-prova após 24 horas de ensaio. Para os traços utilizados, concluiu-se que a argamassa leve com agregado vegetal absorve mais água por unidade de massa, porém com menor valor de absorção por unidade linear. Isto representa uma vantagem com relação à penetração da umidade na argamassa, exposta em ambientes sujeitos à presença de umidade.

Para a sua utilização como argamassa de revestimento, haveria necessidade de um estudo elaborado para a melhora de sua trabalhabilidade, aderência e durabilidade. Ensaios preliminares, realizados com a adição de alguns tipos de polímeros, apresentaram resultados

expressivos com relação à melhoria dessas propriedades, indicando uma seqüência de trabalho e desenvolvimento deste tipo de argamassa leve. De acordo com CINCOTTO et al (1995)³, o revestimento tem efeito direto reduzido sobre as características de transmissão global de energia radiante na parede, tendo em vista a espessura maior dos componentes de vedação. Portanto, a aplicação da argamassa com agregado vegetal, na produção de blocos de vedação e argamassa de revestimento, utilizados em conjunto ou separadamente, possibilitariam um efeito capaz de otimizar as variações térmicas ambientais em edificações.

Finalmente, como relação aos futuros trabalhos a serem desenvolvidos, propõe-se o estudo da microestrutura da interface entre a pasta de cimento e o agregado vegetal para análise e determinação das principais características do material em relação às suas propriedades mecânicas, e principalmente sua durabilidade.

8 CONCLUSÕES

O método Fluximétrico pode ser perfeitamente recomendado para a obtenção da condutividade térmica para os materiais de construção civil, possuindo praticidade de execução e rapidez na determinação dos resultados. Seu comprovado desempenho, através deste trabalho, contribuiu para a normatização da proposta de norma técnica para desempenho térmico de edificações, possibilitando sua padronização dentre os diversos métodos atualmente utilizados. Importante citar, a necessidade da regulamentação de uma norma térmica brasileira, tendo em vista sua criação direcionada para os problemas de ordem regional, fornecendo subsídios para técnicos e projetistas, possibilitando soluções para os diversos tipos de problemas concernentes ao conforto ambiental das edificações.

A argamassa leve com agregado vegetal caracterizou-se como um material isolante térmico, sendo, aproximadamente, cinco vezes mais isolante em comparação à argamassa convencional (cimento e areia). Pode ser utilizada, opcionalmente, como elemento construtivo, como enchimento para lajes e contrapisos e, também como blocos para vedação e elementos pré-moldados. Potencialmente, possibilitará, sua aplicação como argamassa de revestimento, através da melhoria de sua trabalhabilidade e aderência, adicionando-se outros materiais na composição de sua mistura. Embora tenha boa capacidade de absorção de água, mantendo-se parcialmente úmida, possui menor efeito de penetração de água por capilaridade em relação à argamassa convencional, representando uma vantagem quando aplicada em ambientes sujeitos à umidade.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ¹ FIORITO, A. J. S. - **Manual de argamassas e revestimento: estudos e procedimentos de execução**, São Paulo: Pini, 1994.
- ² RYDER, J. F. - **The use of small brickwork panels for testing mortars**, Transaction of the British Ceramic Society, V.62, p. 615-627, Aug. , 1963.
- ³ CINCOTTO, M. A . ; SILVA, M. A. C. ; CASCUDO, H. C. - **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**, São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995.
- ⁴ IOSHIMOTO, E. ; HELENE, P.R. do Lago ; AGOPYAN, V. - **Argamassas**, Escola Politécnica da USP , São Paulo , 23p. , 1988.
- ⁵ RÉUNION INTERNACIONAL DES LABORATORIES D'ESSAIS ET MATÉRIAUX, RILEM - **Recommendations MR 1-21: testing methods of mortar and rendering**, Paris, 1982.
- ⁶ RAGO, F. ; CINCOTTO, M.A . - **Influência do tipo de cal hidratada nas propriedades de pastas cimento-cal**, II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador, Bahia, 1997.
- ⁷ METHA, P. K. ; MONTEIRO, P. J. M. - **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**, São Paulo, Pini , 1991.
- ⁸ MARTINELLI, F. A. - **Contribuição ao estudo de dosagem das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenarias**, Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 179p., 1989.
- ⁹ SELMO, S. M. S. - **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada dos edifícios**, Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 187p. , 1989.
- ¹⁰ CESTARI, D. J. - **Adição do copolímero acetato versatato em argamassa de revestimento**, Trabalho de graduação da Faculdade de Engenharia e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Bauru, 1997.

-
- ¹¹ GRANDI, L. A. C. - **Características físicas do agregado vegetal para aplicação em argamassas e compósitos de cimento Portland**, II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador / BA, pp. 76-86, 1997.
- ¹² GRANDI, L. A. C. - **Placas pré-moldadas de argamassa de cimento e pó de serra**, Tese de Doutorado da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, 128 p., Campinas, SP, 1995.
- ¹³ KATTAR, J. E. ; ALMEIDA, N. J. - **Cimento Portland**, Centro Tecnológico Holdercim, 2^a Ed., 1997.
- ¹⁴ BRANDT, A. M. - **Cement-based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance**, Institute of Fundamental Technological Research Polish Academy of Sciences, Published by E & FN Spon, an imprint of Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN, UK, 470 p, 1995.
- ¹⁵ BERALDO, A.L. - **Généralisation et optimisation de la fabrication d'un composite biomasse végétale-ciment à variations dimensionnelles limitées vis-à-vis des variations de l'humidité**, Nancy: Université de Nancy I, 1994. 223p. Thèse (Docteur en Sciences du Bois), Université de Nancy I, 1994.
- ¹⁶ HANNAT, D.J. - **Fibres Cements and fibres concrete**, A Wiley Interscience publication , Copyright by John Wiley & Sons Ltd., pp. 146-156, 1978.
- ¹⁷ LEWIS, G. ; MIRIHAGALIA, P. - **Natural vegetable fibre as reinforcement in cement sheets**, Magazine of Concrete Research, v. 31, n. 107, pp. 104-108, 1979.
- ¹⁸ CAMPBELL, M.D. ; COUTTS, R.S.P. - **Wood fibre-reinforced cement composites**, CSIRO, South Melbourne, Victoria, Australia - Journal of Material Science, v.15, pp. 1962-1970, n° 8, 1980.
- ¹⁹ GUIMARÃES, S.S. - **Vegetable fibre-cement composites**, Proceedings of the Second International Symposium on Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials by RILEM 7, Salvador, Bahia, pp. 98-107, 1990.
- ²⁰ GUIMARÃES, S.S. , **Utilização de fibras vegetais como reforço para argamassa de cimento** - In Seminário Latino-Americano sobre Construcion de Viviendas Econômicas, vol. 2, Monterrey, pp. 181-206, 1982
- ²¹ COUTTS, R.S.P. ; KIGHTLY, P. - **Bonding in wood fibre-cement composites**, CSIRO, Div of Chemical & Wood Technology, Clayton, Victoria, Australia - Journal of Materials Science, v.19 , n° 10, pp. 3355-3359, 1984.

-
- ²² COUTTS, R.S.P. - **Autoclaved beaten wood fibre reinforced cement composites**, CSIRO, Div. Of Chemical & Wood Technology, Clayton, Victoria, Australia – Composites, v.15, n° 2, pp. 139-143, 1984.
- ²³ SHARMAN, W.R. ; VAUTIER, B.P. - **Accelerated durability testing of autoclaved wood fibre reinforced cement sheet composites**, Building Research Association of New Zealand, Private Bag, Porirua, New Zealand - Durability of Building Materials, v. 3, n° 3, pp. 255-275, 1986.
- ²⁴ GRAM, H.E. ; NIMITYONGSKUL, P. - **Durability of natural fibres in cement based roofing sheets**, Swedish Cement & Concrete Research Inst., Sweden – Journal of Ferrocement, v. 17, n° 4, pp. 321-327, 1987.
- ²⁵ COUTTS, R.S.P. ; WARDEN, P.G. - **The effect of casting pressure on the properties of wood fibre reinforced plaster**, CSIRO, Division of Chemical and Wood Technology, Private Bag 10, Clayton, Victoria, Australia – Journal of Materials Science Letters, vol. 7, n° 9, pp.918-921, 1988.
- ²⁶ AKERS, S.A.S. ; PARTL, M. , **Hygral and thermal expansion/shrinkage properties of asbestos free fibre cement** – Ametex AG, CH-8867 Niederurnen, Switzerland – Cement and Concrete Composites, v.12, pp. 19-27, 1990
- ²⁷ BENTUR, A. ; MINDESS, S. - **Fibre reinforced cements composites**, Elsevier Science Publishers Ltd, Crown House, Linton Road, Barking, Essex IG11 8JU, England – Chapter 11, Natural fibres, pp. 378-417, 1990.
- ²⁸ KARAM, G.N. - **Effect of fiber-fiber interaction on the strength properties of short fiber reinforced cements**, Journal of Composites Technology & Research, JCTRER, vol. 16, n° 2, pp. 154-160, 1994.
- ²⁹ AGOPYAN, V. ; JOHN, V.M. - **Durability evaluation of vegetable fibre reinforced materials**, Building Research an Information , v. 20, n° 4, 1992.
- ³⁰ GRAM, H.E. - **Durability of natural fibres in concrete**, Stockholm, CBI, 1983.
- ³¹ SWAMY, R. N. - **Vegetable fibre reinforced cement composites: a false dream or a potential reality ?**, Proceedings of the Second International Symposium sponsored by RILEM 7, Salvador, Bahia, , pp 3-8 , 1990.
- ³² LIN, X. ; SILSBEE, M.R. ; ROY, D.M. ; KESSLER, K. ; BALNKENHORN, P.R. , **Approaches to improve the properties of wood fiber reinforced cementitious** – Cement and Concrete Research, vol. 24, n° 8, pp. 1558-1566, 1994
- ³³ AGOPYAN, V. ; SAVASTANO JR, H. - **Uso de materiais alternativos à base de fibras vegetais na construção civil: experiência brasileira**, In: Seminario Iberoamericano 1997

de materiales fibrorreforzados, 1 – Y Reunion del Proyecto Pip VIII.5 Cytel, 3. Cali, 1997. Memoria. Cali, Cytel/Universidad del Valle, pp. 23-40, artículo 3, 1997.

- ³⁴ GRANDI, L. A. C. - **O uso do pó de serra como material de construção, em misturas secas e argamassa**, Dissertação de Mestrado da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 92 p. , 1991.
- ³⁵ SAVASTANO JR, H. ; AGOPYAN, V. - **Fibras naturais para produção de componentes construtivos**, FZEA-USP e EP-USP, 1997.
- ³⁶ CEPED - **Utilização de fibras vegetais no fibro-cimento e no concreto fibra**, Departamento de Estudos e Pesquisas, BNH-DEPEA, Rio de Janeiro, 1982.
- ³⁷ BERALDO, A .L. ; ARZOLLA, J.A.R. dal P. - **Utilização de resíduos vegetais na produção de componentes para construção civil**, 5º Congresso Brasileiro de Cimento (CBC), Associação Brasileira de Cimento Portland, São Paulo, Nov., 1999.
- ³⁸ AKATSU, A . ; SATO, N. M. N. - **Propriedades termofísicas de materiais e componentes de construção**, In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Tecnologia de Edificações. São Paulo, IPT / Pini, pp. 519-522, 1988.
- ³⁹ RIVERO A. , R. O. - **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**, D.C. Luzzato Editores, 2ª ed. rev. e ampl. , Porto Alegre, RS, 240p., 1986.
- ⁴⁰ KAMIUTO, K. ; IWAMOTO, M. - **Inversion method for determining effective thermal conductivities of porous materials**, Journal of Heat Transfer, Vol. 109, pp. 831-834, ISSN: 0022-1481, 1987.
- ⁴¹ LEE, T. Y. R. ; TAYLOR, R. E. - **Thermal diffusivity of dispersed materials**, Journal of Heat Transfer , Vol. 100, pp. 720-724, 1978.
- ⁴² TAYLOR, R. E. ; KELSIC, B. H. - **Parameters governing thermal diffusivity measurements of unidirectional fiber-reinforced composites**, Journal of Heat Transfer, Vol. 108, pp. 161-165, 1986.
- ⁴³ GUIMARÃES, G. ; PHILIPPI, P. C. - **Métodos transientes para a medição de propriedades termofísicas de materiais**, Anais do II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1993.
- ⁴⁴ PARKER, W. J. ; JENKINS, R. J. ; BUTLER, C. P. ; ABBOT, G. L. - **Flash Method of determining thermal diffusivity, heat capacity and thermal conductivity**, Journal of Applied Physics, Vol. 32, pp. 1679-1684, 1961.
- ⁴⁵ CARSLAW, H. S. ; JAEGER, J. C. - **Conduction of heat in solids**, Oxford University Press, New York, 1959.

-
- ⁴⁶ TAYLOR, R. - **Heat pulse thermal diffusivity measurement, High temperatures, High Pressures**, Vol. 11, pp. 43-58, 1979.
- ⁴⁷ SHOEMAKER, R. L. - **Limitation of the pulse diffusivity method as applied to composite materials**, High Temperatures, High Pressures, Vol. 18, pp. 645-654, 1986.
- ⁴⁸ BLACKWELL, J. H. - **A transient-flow method for determination of thermal constants of insulating materials in Bulk**, Journal of applied physics, Vol. 25, pp. 137-144, 1954.
- ⁴⁹ KNIBBE, P. G. - **The end-effect error in the determination of thermal conductivity using a hot-wire apparatus**, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 29, pp. 463-473, 1986.
- ⁵⁰ MOURA, L. M. ; LAMBERTS, R. ; PHILIPPI, P. C. ; SOUZA, R. V. C. - **Protótipo nacional de um equipamento para medição de condutividade térmica de materiais de construção**, Anais do II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1993.
- ⁵¹ ASTM C177-76 - **Standard test method for means steady-state thermal transmission properties by of the guarded hot plate**, 1976.
- ⁵² BSI BS-874 - **Guarded hot plate**, Section 2.1, 1986.
- ⁵³ AFNOR NFX10-021 - **Determination de conductivité thermique avec la plaque chaude gardée pour des échantillons symétriques**, 1972.
- ⁵⁴ PROJETO 02:135.07-005 - **Desempenho térmico de edificações: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico**, Proposta para norma de desempenho térmico em edificações submetida ao Comitê Brasileiro de Construção Civil (CB-02) e à Comissão de Estudo de Desempenho Térmico para Edificações (CE-02:135.07), 1998.
- ⁵⁵ ASTM C518-85 - **Steady state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the heat flow meter apparatus**, 1985.
- ⁵⁶ AFNOR NFX10-025 - **Détérmination de la résistance thermique et de la conductivité thermique en régime stationnaire**, Méthode fluximétrique, 1991.
- ⁵⁷ ISO 8301 International Standard - **Determination of steady state thermal resistance and related properties**, Heat flow meter apparatus, 1991.
- ⁵⁸ NOGUEIRA, M. C. J. A. ; SALEA, A. ; LAHR, F. A. R. - **Determinação da condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico para a madeira de eucalipto**, Anais do II Encontro Nacional de Conforto Térmico no Ambiente Construído, 1993.
- ⁵⁹ FARHAT, G. M. - **Estudos dos efeitos das dimensões geométricas e da resistência térmica de contato de uma sonda para determinação experimental da condutividade térmica**

do material isolante térmico, pelo método da linha geradora de calor, Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica da USP, 1985.

⁶⁰ DEUTSCHE Normen / DIN 51046/76 - **Bestimmung der Wärmeleit fahigkeit bei temperaturen bis 1600°C nach dem Heibdraht Verfahren**, 1976.

⁶¹ FARHAT, G. M. - **Determinação da condutividade térmica de materiais refratários isolantes térmicos pelo método do fio quente**, 32º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Natal , Publicação IPT 2313, 1995.

⁶² ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, Rio de Janeiro

_____.NBR 6156 - **Máquina de ensaio de tração e compressão**, verificação, Rio de Janeiro, 1983.

_____.NBR 6467 - **Agregados: Determinação do inchamento do agregado miúdo**, especificação, Rio de Janeiro, 5p., 1987.

_____.NBR 6508 - **Grãos de Solo que passam na peneira 4,8mm : determinação da massa específica**, especificação, Rio de Janeiro, 2p., 1984.

_____.NBR 7200 - **Revestimentos de paredes e tetos com argamassas: materiais, preparo, aplicação e manutenção** - especificação, Rio de Janeiro, 16p. 1982.

_____.NBR 7211 - **Agregados para concreto**, especificação, Rio de Janeiro, 3p. 1987.

_____.NBR 7215 - **Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão**, Rio de Janeiro, 8p. 1996.

_____.NBR 7217 - **Agregado: determinação da composição granulométrica**, especificação, Rio de Janeiro, 5p. 1983.

_____.NBR 7222 - **Argamassas e concretos: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**, São Paulo, 1982.

_____.NBR 7251 - **Agregado em estado solto: determinação da massa unitária**, especificação, Rio de Janeiro, 3p.,1982.

_____.NBR 7810 - **Agregado em estado compactado seco: determinação da massa unitária**, especificação, Rio de Janeiro, 3p., 1983.

_____.NBR 10024 - **Chapa dura de fibras de madeira**, especificação, Rio de Janeiro, 1987.

-
- ⁶³ CESTARI, D.J. ; PAULON, V.A. - **Argamassas de revestimento: estudo das propriedades decorrentes da modificação com copolímero**, 41^o Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Salvador, BA, 1999.
- ⁶⁴ C.E.B - **Durable Concrete Structures**, Comité Euro-International du Bèton (C.E.B.), Second Edition, 1989.
- ⁶⁵ CAMARINI, G. ; BALAYSSAC, J.P. ; DETRICHE, Ch. H. - **Influence of cement type and curing conditions on initial absorption of concrete**, High-Performance Concrete, Proceedings Second CANMET/ACI International Conference, Gramado, RS , Brazil, 1999.
- ⁶⁶ DE PONTE, F. ; DI FILIPO, P. , **Design Criteria for guarded hot plated apparatus** – Heat transmission measurements in thermal insulations, ASTM STP 544, pp. 97-117, 1974.
- ⁶⁷ GÜTHS, S. - **Um método transiente para medição de propriedades térmicas**, Dissertação de Mestrado pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 1990.
- ⁶⁸ BOLORINO, H. ; CONCOTTO, M.A. - **A influência do tipo de cimento nas argamassas**, II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador, BA, pp. 15-25, 1997.

ANEXOS

ANEXO A

Equipamento e procedimento do ensaio de absorção de água por capilaridade

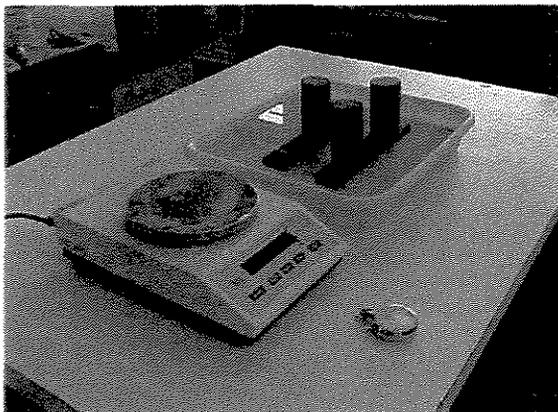


Figura A.1 - Dispositivo para o ensaio de absorção de água por capilaridade, balança de precisão e cronômetro

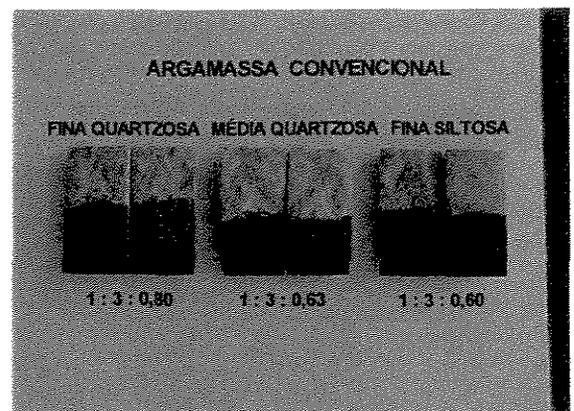


Figura A.2 - Altura de penetração de água do ensaio de absorção para a argamassa convencional composta por três tipos de areia, após 24 horas.

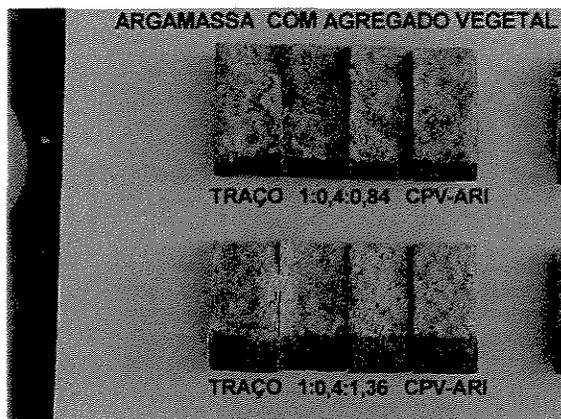


Figura A.3 - Altura de penetração de água para argamassa com agregado vegetal: traços 1:0,4:0,84 e 1:0,4:1,36 - CPV-ARI

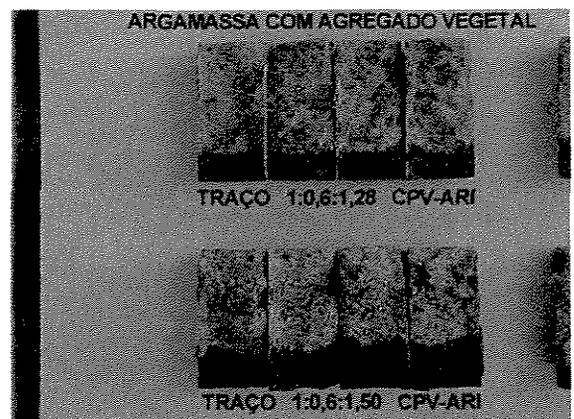


Figura A.4 - Altura de penetração de água para argamassa com agregado vegetal: traços 1:0,6:1,28 e 1:0,4:1,50 - CPV-ARI

Forma e moldagem das amostras para os ensaios de condutividade térmica pelo método fluximétrico

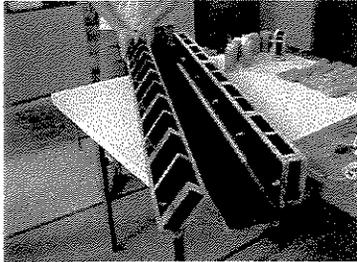


Figura B.1 - Conceção das fôrmas para moldagem das amostras para os ensaios de condutividade térmica.



Figura B.2 - Moldagem das amostras para os ensaios de condutividade térmica.

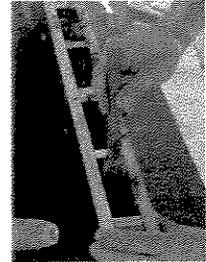


Figura B.3 - Compactação em camadas, através do soquete, das amostras para os ensaios de condutividade térmica.



Figura B.4 - Amostras recém-moldadas para os ensaios de condutividade térmica, a serem colocadas em câmara úmida (cura).

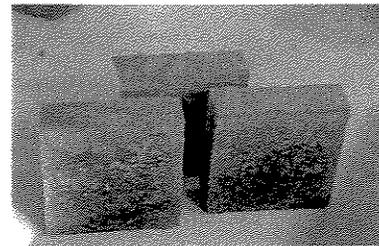


Figura B.5 - Amostras para os ensaios de condutividade térmica, moldadas e curadas, após o tempo especificado em função do tipo de cimento. Secas em estufa à 80 °C até constância de massa.

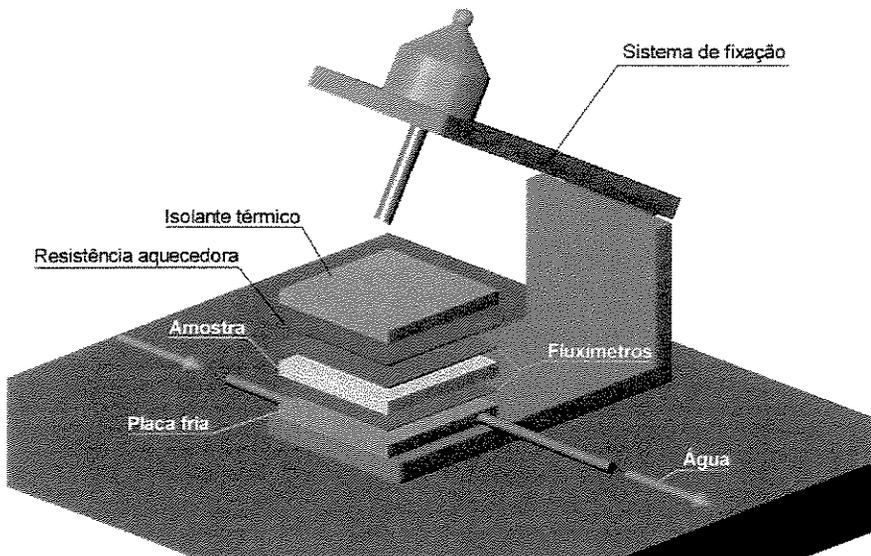


Figura fornecida pelo LMPT
Deptº Engenharia Mecânica
UFSC

Figura B.6 - Dispositivo de medição de condutividade pelo método fluximétrico com configuração composta de uma amostra e dois fluxímetros.

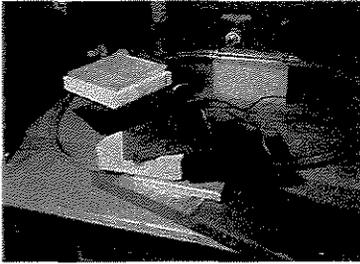


Figura B.7 - Ordem dos elementos do dispositivo de medição do método fluximétrico

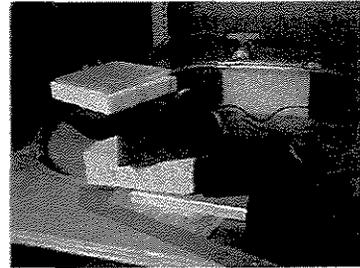


Figura B.8 - Detalhe da ordem dos elementos do dispositivo do método fluximétrico

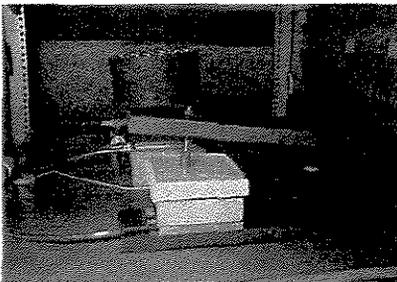


Figura B.9 - Montagem dos elementos do dispositivo de medição no sistema basculante e aplicação de uma pressão de 0,08 kg/cm²

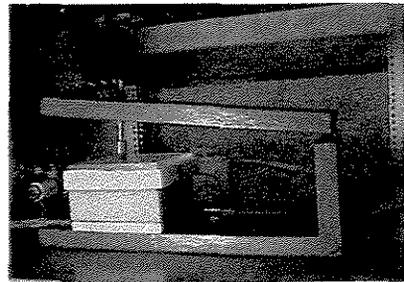


Figura B.10 - Detalhe da montagem dos elementos do dispositivo do método fluximétrico

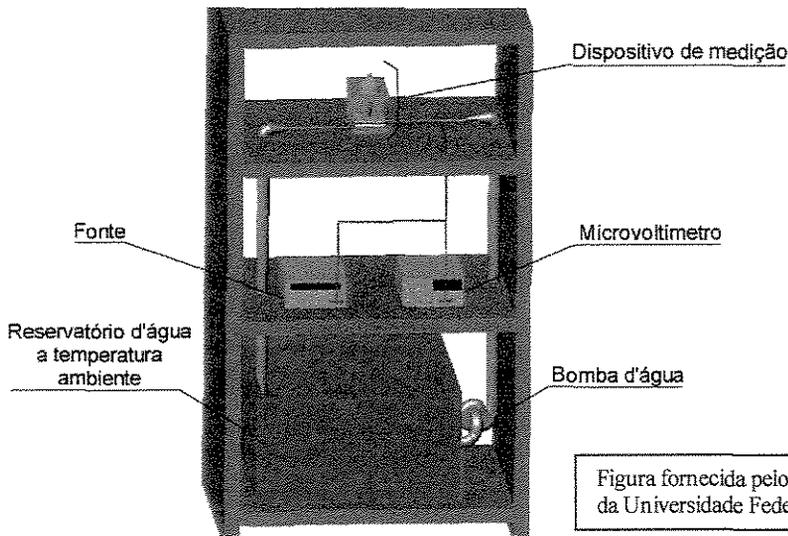


Figura fornecida pelo LMPT do Dept^o Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina

Figura B.11 - Esquema do sistema do método fluximétrico composto pelo dispositivo de medição, fonte, microvoltímetro e reservatório equipado com bomba d'água