

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**PISOS DE ARGAMASSA REFORÇADA  
COM PARTÍCULAS DE BAMBU**

**SANDRA CRISTINA F. MARTINS**

CAMPINAS – SP  
ABRIL DE 2002

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**PISOS DE ARGAMASSA REFORÇADA  
COM PARTÍCULAS DE BAMBU**

Dissertação submetida à banca examinadora  
para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Agrícola, na área de concentração  
em Construções Rurais e Ambiente.

**SANDRA CRISTINA F. MARTINS**

**Orientador: Prof. Dr. ANTONIO L. BERALDO**

CAMPINAS – SP

ABRIL DE 2002

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

M366p Martins, Sandra Cristina Fernandes  
Pisos de argamassa reforçada com partículas de  
bambu / Sandra Cristina Fernandes Martins.--Campinas,  
SP: [s.n.], 2002.

Orientador: Antonio Ludovico Beraldo.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Pisos. 2. Bambu. 3. Biomassa vegetal. 4.  
Construção de bambu. I. Beraldo, Antonio Ludovico. II.  
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Engenharia Agrícola. III. Título.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antonio L. Beraldo, meu orientador, em primeiro lugar por sua confiança e seu profissionalismo técnico, paciência e incentivo, otimismo e apoio em cada passo, principalmente no laboratório.

Ao Prof. Anísio Azzini do Instituto Agronômico de Campinas pelas pesquisas e desenvolvimentos com o bambu.

Aos Professores Wesley, Rossi, David e Raquel, pela transmissão formal e informal de seus conhecimentos, colaboração e ajuda em muitos momentos. Às minhas grandes amigas e incentivadoras, Martha Del Carmen Mesa Valenciano e Wilza G. R. Lopes, sem contar os amigos de sala: Edílson, Cal, Lourdes, Néri, Regis e ao Eduardo.

Às técnicas do Laboratório de Ensaio de Materiais e de Estruturas (LEME) da FEAGRI/UNICAMP, Gisleiva e à Flavinha. Ao Laboratório de Protótipo com: Zé Maria, Fubá, Chicão e Luizinho. Ao pessoal do Campo Experimental: Jurandi, Zé Budia, Deivid. Ao pessoal do Laboratório de Estruturas da Engenharia Civil/UNICAMP, Marçal, Luciano e Marcelo.

À empresa BRASTON – pisos de concreto, Georges Rusalim e Alcino e também à empresa CERÂMICA PORTOBELLO, e às técnicas do Laboratório de Pesquisas, Cláudia Fumagalli e Basilícia, e ao amigo e responsável pela área Luiz Vieira Jr.

Ao CTC (CENTRO TECNOLÓGICO DE CERÂMICA) de Criciúma – SC pelos ensaios realizados nos corpos-de-prova e, em especial, à técnica Janaína.

Às minhas amigas Helaine Araújo Santos e Adriane Mateus, pelos sábados e domingos trabalhados no laboratório mesmo sem luz com a nossa lanterna...

À minha família, meu pai, meus irmãos e minha tia-avó Smerol e, em especial, à minha mãe, grande sábia e incentivadora, principalmente nos momentos de baixo astral.

Ao Paulo Roberto Pasian, que mesmo de longe sempre me incentivou para que eu procurasse fazer o melhor...

E à CAPES, por todos os recursos financeiros oferecidos para a realização deste projeto.

**SUMÁRIO**

	Página
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xv</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
3.1. Bambu.....	3
3.2. Fibras.....	5
3.3. Compósitos com materiais de origem vegetal.....	6
3.4. Incompatibilidade química dos materiais de origem vegetal com matriz de cimento.....	7
3.5. Pisos.....	8
3.6. Desgaste abrasivo em pisos.....	9
3.7. Técnicas não destrutivas.....	10
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
4.1. MATERIAIS.....	12
4.1.1. Partículas de Bambu.....	12

---

4.1.2.	Cimento e Areia.....	13
4.1.3.	Água.....	13
4.1.4.	Equipamentos.....	13
4.2.	<b>MÉTODOS.....</b>	<b>14</b>
4.2.1.	Procedimentos do corte dos colmos de bambu no IAC (Instituto Agronômico de Campinas).....	14
4.2.2.	Procedimentos do corte dos colmos de bambu na FEAGRI.....	15
4.2.3.	Tratamento das partículas de bambu com hidróxido de sódio (soda cáustica).....	16
4.2.4.	Tratamento das partículas de bambu com água quente....	17
4.2.5.	Ensaio de teor umidade.....	17
4.2.6.	Distribuição em tamanho das partículas de bambu.....	18
4.2.7.	Determinação do traço.....	18
4.2.8.	Procedimentos aplicados aos tratamentos.....	19
4.2.9.	Moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos.....	20
4.2.10.	Cura dos corpos-de-prova.....	21
4.2.11.	Ensaios dos corpos-de-prova cilíndricos.....	21
4.2.12.	Procedimentos de fabricação das placas de piso.....	24
4.2.13.	Ensaios aplicados às placas.....	24
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
5.1	<b>ENSAIOS APLICADOS ÀS FIBRAS.....</b>	<b>33</b>
5.1.1.	Secagem do bambu cortado no IAC.....	33
5.1.2.	Secagem do bambu no campo experimental da FEAGRI	33
5.1.3.	Distribuição em tamanho das partículas de bambu.....	33

---

5.1.4. Teor de umidade das partículas de bambu do IAC e da FEAGRI.....	35
5.1.5. Tratamento das partículas de bambu com hidróxido de sódio.....	36
5.1.6. Tratamento das partículas em água quente.....	36
5.2. ENSAIOS APLICADOS AOS CORPOS-DE-PROVA.....	36
5.2.1. Índice de Consistência.....	36
5.2.2. Determinação do traço.....	37
5.2.3. Ensaio efetuados nos corpos-de-prova cilíndricos.....	38
5.3. ENSAIOS NAS PLACAS DE 10 cm x 10 cm x 3 cm.....	68
5.3.1. END – Ensaio não destrutivo – Ultra-som.....	68
5.3.2. Módulo de resistência à flexão.....	69
5.3.3. Resistência à abrasão superficial.....	70
5.3.4. Resistência ao manchamento.....	74
5.3.5. Resistência ao ataque químico.....	75
5.3.6. Absorção de água.....	76
5.3.7. Resistência à abrasão profunda.....	77
5.3.8. Resistência ao impacto.....	77
6. CONCLUSÕES.....	78
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

## LI STA DE FI GURAS

	Página
Figura 1	Touceiras de <i>Bambusa tuldoides</i> ..... 12
Figura 2	Processo do cortes dos colmos de bambu até chegar aos cavacos.
	2a) Colmo cortado com facão.....
	2b) Colmo passado na máquina picadeira.....
	2c) Máquina DPM-500-1-IAC..... 15
Figura 3	Corte dos colmos na serra circular Rocco.
	3a) Colmos sendo cortados.....
	3b) Concentração fibras camada externa..... 15
Figura 4	Máquina Ensiladeira, marca Irmãos Nogueira.
	4a) Máquina ensiladeira.....
	4b) Detalhe do fracionamento.....
	4c) Partículas fracionadas..... 16
Figura 5	Preparação do tratamento com hidróxido de cálcio.
	5a) Fibras separadas em 3 quantidades.....
	5b) Fibras imersas em solução..... 16
Figura 6	Processo do ensaio de norma 7215 da ABNT, 1996.
	6a) Execução da mistura.....
	6b) Mesa de Flow table..... 19
Figura 7	Processo de fabricação dos corpos-de-prova.
	7a) Mesa vibratória para telhas adaptada.....
	7b) Corpos-de-prova durante o processo de fabricação..... 21

Figura 8	Equipamento de ultra-som Ultrasonic Tester, modelo BP-7.	
	8a) Equipamento de ultra-som.....	
	8b) Equipamento sendo utilizado.....	22
Figura 9	Processo de fabricação do piso.	
	9a) Preenchimento das fôrmas.....	
	9c) Placas sendo retiradas.....	24
Figura 10	Vista de todos os pontos onde aplicou-se o ultra-som.....	25
Figura 11	Placas posicionadas na prensa para serem ensaiadas à flexão.	
	11a) Máquina Resistência à flexão.....	
	11b) Corpo-de-prova durante ensaio.....	26
Figura 12	Máquina de abrasão superficial e procedimentos.	
	12a) Abrasímetro.....	
	12b) Esferas de aço.....	28
Figura 13	Amostras T10 e Peças especiais.	
	13a) Tratamento T 10 com todos os agentes.....	
	13b) Peças especiais com agentes da norma.....	29
Figura 14	Ensaio de resistência ao ataque químico.....	30
Figura 15	Aparelho de abrasão profunda.	
	15a) Vista frontal d aparelho.....	
	15b) Vista lateral do aparelho.....	31
Figura 16	Amostra colada com argamassa e aparelho de ensaio de resistência ao impacto.	
	16a) Piso colado ao bloco.....	
	16b) Vista lateral do aparelho.....	32
Figura 17	Frequência dos valores retidos em cada peneira.....	35
Figura 18	Média das velocidades de propagação de ondas utilizando ultra-som para os tratamentos com cimento CPII-E-32.....	40
Figura 19	Média das velocidades de propagação de ondas utilizando ultra-som para os tratamentos com cimento CPV-ARI.....	43

Figura 20	Média da absorção de água (%), para tratamentos com o cimento CII-E-32.....	47
Figura 21	Média da absorção de água (%), para tratamentos com o cimento CPV-ARI.....	50
Figura 22	Média da resistência à compressão simples dos tratamentos com cimento CII-E-32.....	55
Figura 23	Média da resistência à compressão simples dos tratamentos com cimento CPV-ARI.....	59
Figura 24	Correlação entre velocidade e resistência aos 28 dias, com cimento CII-E-32.....	62
Figura 25	Correlação entre velocidade e resistência aos 28 dias, com cimento CP V ARI.....	62
Figura 26	Média dos tratamentos de resistência à tração na compressão diametral, para corpos-de-prova com cimento CII-E-32.....	64
Figura 27	Média dos tratamentos de resistência à tração na compressão diametral, para corpos-de-prova com cimento CP V-ARI.....	66
Figura 28	Comparação entre a velocidade da base e topo e os pontos A, B, C, D.....	69
Figura 29	Resultados dos ensaios de flexão das placas (MPa).....	70
Figura 30	Detalhes das amostras das placas após a ruptura. 30a) Ruptura T 10..... 30b) Ruptura peça especial..... 30c) Ruptura T 10, peça especial e Braston.....	70
Figura 31	Peças de 10 x 10 cm <sup>2</sup> ensaiadas por abrasão superficial a 600 giros. 31a) T 10 base..... 31b) T 10 topo..... 31c) Peça Especial.....	71
Figura 32	Peças de 10 x 10 cm <sup>2</sup> ensaiadas por abrasão superficial a 1500	

	giros.	
	32a) T 10 base.....	
	32b) T 10 topo.....	
	32c) Peça Especial.....	72
Figura 33	Peças de 10 x 10 cm <sup>2</sup> ensaiadas por abrasão superficial a 1200 giros.	
	33a) T 10 base.....	
	33b) T 10 topo.....	73
Figura 34	Peças de 10 x 10 cm <sup>2</sup> ensaiadas por abrasão superficial a 12000.	
	34a) Peça Especial.....	
	34b) Peça Braston mais ensaio de manchamento detalhe massa de vedação.....	73
Figura 35	Peças atacadas pelo ácido cítrico.....	75
Figura 36	Média dos resultados de absorção de água.....	76
Figura 37	Resultado do desgaste das peças por abrasão profunda.....	77

## LI STA DE TABELAS

		Página
Tabela 1	Peneiras utilizadas.....	18
Tabela 2	Descrição dos tratamentos dos corpos-de-prova (CP II-E-32 e CPV-ARI.....	20
Tabela 3	Valores e correspondência do PEI.....	27
Tabela 4	Classes de limpeza e seus agentes.....	29
Tabela 5	Distribuição média das partículas de bambu do IAC, FEAGRI e AREIA.....	34
Tabela 6	Teor de umidade das partículas de bambu.....	35
Tabela 7	Ensaio de Consistência (Flow Table).....	37
Tabela 8	Quantidade de materiais utilizados para a determinação dos corpos-de-prova.....	37
Tabela 9	Média das velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas para os tratamentos com cimento CP II-E-32.....	39
Tabela 10	Análise estatística do ensaio de ultra-som para o compósito à base de cimento CP II-E-32.....	41
Tabela 11	Média das velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas para os tratamentos com cimento CP V-ARI.....	42
Tabela 12	Análise estatística do ensaio de ultra-som para o compósito à base de cimento CP V-ARI.....	44

Tabela 13	Análise estatística do ensaio não destrutivo – Ultra-som dos melhores tratamentos com os cimentos CP II-E-32 e CP V-ARI..	44
Tabela 14	Análise estatística do ensaio de ultra-som do nível 2 com os cimentos CP II-E-32 e CP V-ARI.....	45
Tabela 15	Absorção de água (%) dos corpos-de-prova com cimento CP II-E-32.....	45
Tabela 16	Análise estatística do ensaio de absorção de água para o compósito à base do cimento CP II-E-32.....	46
Tabela 17	Absorção de água (%) dos corpos-de-prova com cimento CP V-ARI.....	48
Tabela 18	Análise estatística do ensaio de absorção de água para o compósito à base do cimento CP V-ARI.....	48
Tabela 19	Análise estatística do ensaio de absorção de água dos melhores tratamentos com cimento CP II-E-32 e CP V-ARI.....	49
Tabela 20	Resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias, de corpos-de-prova com diferentes combinações de cimento CP II-E-32 e com 8% fibras de bambu.....	51
Tabela 21	Resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias, de corpos-de-prova com diferentes combinações de cimento CP II-E-32 e com 16% fibras de bambu.....	52
Tabela 22	Resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias, de corpos-de-prova com diferentes combinações de cimento CP II-E-32 e com 24% fibras de bambu.....	53
Tabela 23	Análise estatística do ensaio de compressão simples do cimento CP II-E-32.....	54
Tabela 24	Resistência à compressão simples dos tratamentos com o cimento CP II-E-32.....	55
Tabela 25	Resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias, de corpos-de-prova com diferentes combinações de cimento CP V-ARI e com 8% fibras de bambu.....	56

Tabela 26	Resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias, de corpos-de-prova com diferentes combinações de cimento CP V-ARI e com 16% fibras de bambu.....	57
Tabela 27	Resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias, de corpos-de-prova com diferentes combinações de cimento CP V-ARI e com 24% fibras de bambu.....	58
Tabela 28	Resistência à compressão simples dos tratamentos com o cimento CP V-ARI.....	59
Tabela 29	Análise estatística do ensaio de compressão simples do cimento CP V-ARI.....	60
Tabela 30	Análise estatística do ensaio de compressão simples dos melhores tratamentos com cimento CP II-E-32 e CP V-ARI.....	60
Tabela 31	Média das velocidades da onda ultra-sônica e a resistência à compressão dos corpos-de-prova durante o 3, 7 e 28 dia, feitos com cimento CP II-E-32.....	61
Tabela 32	Média das velocidades da onda ultra-sônica e a resistência à compressão dos corpos-de-prova durante o 3, 7 e 28 dia, feitos com cimento CP V-ARI.....	61
Tabela 33	Média da compressão diametral, para corpos-de-prova à base de cimento CP II-E-32.....	63
Tabela 34	Análise estatística do ensaio de resistência à tração na compressão diametral dos melhores tratamentos com cimento CP II-E-32.....	63
Tabela 35	Média da resistência à tração na compressão diametral, para cimento CP V-ARI.....	65
Tabela 36	Análise estatística do ensaio de resistência à tração na compressão diametral dos melhores tratamentos com cimento CP V-ARI.....	65
Tabela 37	Análise estatística do ensaio de resistência à tração na compressão diametral dos melhores tratamentos com cimento CP	

---

	II-E-32 e CP V-ARI.....	65
Tabela 38	Razão entre compressão diametral e compressão simples para cimento CP II-E-32 e CP V-ARI, na idade de 28 dias.....	67
Tabela 39	Síntese dos melhores resultados obtidos pelo teste de Tukey.....	67
Tabela 40	Média das velocidades de propagação de ondas das placas 10 cm x 10 cm x 3 cm.....	68
Tabela 41	Tratamento T 10, peças Braston e Peças especial.....	69
Tabela 42	Desgaste por 600 giros.....	71
Tabela 43	Desgaste por 1500 giros.....	72
Tabela 44	Desgaste por 12000 giros.....	73
Tabela 45	Agentes manchantes no tratamento T 10, peças especiais e Braston.....	74
Tabela 46	Agentes químicos utilizados no tratamento T 10, peças especiais e Braston.....	75
Tabela 47	Absorção de água (%) no tratamento T 10, peças especiais e Braston.....	76
Tabela 48	Padrão da norma quanto à abrasão profunda.....	77

## RESUMO

O compósito de argamassa de cimento e partículas de bambu provenientes da espécie *Bambusa tuldoides*, foi desenvolvido com a finalidade de avaliar seu comportamento mecânico para a confecção de placas de pisos. Para solucionar os problemas de incompatibilidade química entre os cimentos (CP II-E-32 e CP V-ARI) e a partícula vegetal, foram realizados quatro tipos de tratamentos, a saber: em água quente e com hidróxido de sódio, com 6 h, 12 h e 24 h de duração. Após a definição dos teores de partículas que seriam empregados nos compósitos, foram determinados os traços, moldados os corpos-de-prova, os quais foram posteriormente submetidos a ensaios normatizados de compressão simples, de tração na compressão diametral, de absorção de água e de ultra-som. Esses ensaios foram realizados aos 3º, 7º e 28º dias. Os resultados dos ensaios de corpos-de-prova cilíndricos mostraram que o melhor tratamento foi aquele com cimento CP V-ARI e 8% de partículas tratadas em água quente. Por último, foram confeccionadas placas de 10 x 10 x 3 cm<sup>3</sup> e realizados os ensaios de: ultra-som, resistência à flexão, à abrasão superficial, ao manchamento, ao ataque químico, a absorção de água, a abrasão profunda e a resistência ao impacto, conforme a norma NBR 13818 da ABNT, 1997. Os resultados dos ensaios em placas mostraram que o compósito pode ser considerado um material semi-poroso quanto à absorção de água. O ensaio de flexão apresentou resultados similares em todas as placas testadas. Quanto à resistência à abrasão profunda e ao manchamento, o material não atendeu às exigências da norma para materiais cerâmicos.

**Palavras-Chave:** compósitos de biomassa vegetal, partículas de bambu, placas para piso.

## **ABSTRACT**

The cement mortar-bamboo particle composite was researched in order to evaluate its mechanical behavior as a floor material. The chemical incompatibility between the cement (CP II-E-32 and CP V-ARI) and the vegetal particle was studied. For this purpose, four different treatments were accomplished, namely the immersion in boiling water and the bamboo particle's chemical treatment with sodium hydroxide for 6, 12 and 24 hrs. Right after fixing the bamboo particle contents to be used for composite manufacturing, the cylindrical specimens were molded at determined ratios, and then submitted to compression test, splitting tensile test, water absorption test and ultrasonic test, at ages of 3, 7 and 28 days. The data showed that the best result was achieved by the CP V-ARI cement associated to 8% bamboo particles pretreated in boiling water. The 10x10x3 cm<sup>3</sup> composite plates were tested to ultrasonic pulse velocity, flexural modulus, superficial abrasion, spotting, chemical attack, water absorption, deep abrasion and impact resistance, according to Brazilian regulations. The results showed that composite may be considered a semi-porous material concerning water absorption. All the composite plates presented similar behavior under flexion. In relation to both the deep abrasion resistance and the spotting, the material did not fulfil the standard requirements for ceramics materials.

**KEYWORDS:** biomass-cement composite, bamboo particle, floor plate.

## 1 - INTRODUÇÃO

A necessidade cada vez maior de habitações, devido ao crescimento populacional acentuado, vem incentivando os pesquisadores na busca do desenvolvimento de novos materiais, componentes e sistemas construtivos.

Por possuir as espécies mais adequadas de bambu, o Brasil apresenta um grande potencial para a produção dos mais variados tipos de componentes para a construção civil. Porém, pouco se tem relatado cientificamente sobre construções com bambu no Brasil. Sua utilização tem sido efetuada de forma precária, talvez até por falta de uma tecnologia apropriada, limitando-se, sobretudo, a usos consagrados no meio rural.

No entanto, devido ao seu baixo custo e à disponibilidade do material em certos locais, a técnica construtiva com o bambu se mostra ao encontro ao conceito mundial de sustentabilidade de produção, atendendo aos aspectos ecológicos, à redução de gastos energéticos, e ao melhor aproveitamento dos recursos naturais. Ao escolher o bambu como material para a confecção de placas de piso foram levados em consideração: a disponibilidade da matéria prima; a seleção da espécie de bambu; a adequação a algumas normas brasileiras para o ensaio de pisos. Dentro dessa linha de pesquisa é que se situa a presente proposta de trabalho, cuja finalidade é a fabricação de placas para piso de argamassa de cimento reforçada com partículas de bambu.

## **2 - OBJETIVOS**

O presente trabalho tem por objetivos:

- ? Estudar as características físicas e mecânicas da argamassa reforçada com as fibras de bambu para a finalidade de piso;
- ? Ensaiar as placas de piso, com prescrições das Normas existentes para pisos cerâmicos convencionais (NBR 13818);
- ? Definir, em função dos resultados dos ensaios, as melhores condições de uso para material obtido, estabelecendo-se uma metodologia;
- ? Desenvolver uma técnica adequada para a utilização de placas para piso de argamassa reforçadas com fibras de bambu.

## 3 - REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1. BAMBU

A maior concentração de gêneros e espécies de bambu ocorre no Continente Asiático, onde esse vegetal cresce nas mais variadas condições climáticas. Segundo BARBOSA (1997), pesquisas efetuadas no Brasil revelaram uma grande ocorrência natural de bambu no Estado do Acre, onde tais espécies nativas de bambu não são ainda bem conhecidas, pois vivem associadas com a floresta nativa. Erroneamente acredita-se que sejam nativas as espécies de bambu mais frequentes no Brasil. No entanto, elas foram introduzidas da Ásia, sendo as principais: *Bambusa vulgaris*, *Bambusa vulgaris* variedade *vittata*, *Bambusa tuldoides*, *Dendrocalamus giganteus* e algumas espécies pertencentes ao gênero *Phyllostachys*.

SALGADO (1993) afirmou que o bambu é a planta que tem sido mais intensa e extensivamente utilizada pelo homem. Afinal, são 45 gêneros e mais de mil espécies espalhadas pelo mundo.

A estrutura anatômica do colmo de bambu é muito diferente daquela observada nas madeiras. De acordo com o CEPED (1982), a distribuição das fibras na seção transversal do bambu é mais concentrada na periferia, rareando em direção à face interna onde há maior concentração de células parenquimatosas, ricas em amido.

BARBOSA (1997) recomendou alguns procedimentos para efetuar o corte dos colmos: o bambu deve ser cortado com idade por volta dos três anos e logo acima do segundo ou terceiro nó, entre 15 a 30 cm de distância do solo, para evitar o acúmulo de água no interior

do colmo, o que causaria um apodrecimento do rizoma. Após seu corte, o bambu não necessita ser replantado, pois brota com facilidade. O bambu, assim como a madeira, depois do corte se torna susceptível aos ataques biológicos (insetos), que em conjunto com outros agentes aceleram a sua decomposição.

ANTUNES (1987) relatou que o bambu tem sido utilizado tanto de maneira extrativa, sendo retirado de reservas naturais, quanto do cultivo, o que tem sido cada vez mais incentivado pela indústria do papel, mobiliário ou artesanato. MENEZES (1981) comentou que o bambu pode ser cultivado em terras de topografia acidentada, inadequadas à agricultura tecnificada, liberando as melhores áreas com solos férteis para a produção de alimentos.

JANSSEN (1984) enumerou vantagens do uso do bambu como material de construção em relação à madeira, dentre elas:

- ? É um material de baixo custo e de fácil reposição;
- ? Permite a associação com outros materiais de construção;
- ? Devido às suas qualidades físicas e mecânicas é um material indicado para construções expostas aos abalos sísmicos;
- ? Multiplicidade de usos: utensílios domésticos, artigos de lazer, alimentação, medicamentos, ornamentação, fins energéticos, celulose e papel, etc.
- ? Utilizado para recuperar áreas degradadas ou matas ciliares;
- ? Facilidade de transporte e aproveitamento total do bambu, pois não deixa resíduo.

Entre as desvantagens, o autor mencionado citou:

- ? Baixa durabilidade natural causando o apodrecimento ou ataque de insetos, se o colmo não for tratado; ao envelhecer o bambu perde sua resistência;
- ? Altamente combustível;
- ? Maior tempo de secagem se comparado com madeiras de mesma massa específica;
- ? Dificuldade na execução de ligações rígidas e estáveis;
- ? Os bambus não apresentam comprimento e diâmetro uniformes e sua instabilidade dimensional pode trazer problemas para as construções;
- ? O bambu racha com muita facilidade, principalmente durante a secagem.

### 3.2. FIBRAS

Uma área muito promissora cientificamente é o uso das fibras vegetais em matrizes cimentícias, pois seu uso pode reduzir o consumo de energia e conservar os recursos escassos, além de gerar alternativas para a solução dos problemas habitacionais. A expectativa da utilização de fibras vegetais, assim como resíduos agro-industriais, na década de 80, foi muito grande. O CEPED - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento de Camaçari, Bahia, realizou estudos com fibras de sisal e coco, alcançando um ótimo resultado. Porém, a baixa durabilidade das fibras vegetais em ambientes alcalinos pôde ser demonstrada por estudos da microestrutura.

Segundo AGOPYAN et al. (1990), está se observando, internacionalmente, um aumento no emprego de materiais reforçados com fibras naturais. Fatores como o menor custo, a baixa energia consumida tanto para a fabricação como para o transporte, a indisponibilidade dos materiais convencionais no local e o conseqüente aumento nos preços fazem com que esta busca se torne incessante.

A biomassa é fonte inesgotável de recursos naturais e disponíveis, apresentando-se na forma de resíduos de várias indústrias (madeira, móveis), resíduos agroindustriais (bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz e de outros cereais), ou partículas obtidas no meio rural através da desintegração mecânica de colmos (bambu).

Segundo BERALDO (1997a), o bambu apresenta muitas vantagens em relação aos materiais convencionais de construção, pois pode ser associado com o cimento Portland, buscando-se a substituição do aço, ou substituindo os agregados, além de poder ser utilizado diretamente em construções. O autor relatou que, em certos casos, o consumo dos agregados minerais poderia acarretar um transtorno ambiental devido à sua exploração desenfreada. A utilização das partículas de bambu seria eficaz como substituição de matérias-primas não renováveis (areia e brita).

É possível melhorar as propriedades mecânicas do compósito, segundo AGOPYAN (1993), ao adicionar-se fibras às matrizes frágeis. Isso faz com que elas tenham maior resistência à tração, à flexão e ao impacto.

### 3.3. COMPÓSITOS COM MATERIAIS DE ORIGEM VEGETAL

O termo compósito é definido como o material obtido com diferentes componentes, cuja combinação proporciona características favoráveis que, isoladamente, nenhum componente possui. Na ciência dos materiais, refere-se ao material obtido a partir de uma matriz reforçada com fibras. As fibras, incorporadas a matrizes de cimento, atuam modificando seu modo de ruptura, tornando-as materiais mais dúcteis e provocando acréscimos nas suas resistências à tração, à flexão e ao impacto.

Por se tratar de materiais heterogêneos, os compósitos têm suas propriedades de acordo com a proporção dos componentes e de suas características, motivo pelo qual é sumamente importante conhecer e estudar suas características físico-mecânicas para avaliar corretamente o material ou o produto final.

O cimento-amianto foi o primeiro material de construção civil reforçado com fibras, produzindo em escala industrial, apesar dos riscos à saúde que o manuseio das fibras de amianto traz ao homem. A partir do conhecimento desses riscos à saúde, a engenharia voltou a preocupar-se em estudar e desenvolver novos componentes para a sua substituição.

TEZUKA (1999) estudou as características do concreto armado com fibras naturais, como as de coco, juta, de sisal, etc. Segundo o autor, na produção de chapas para uso em coberturas e paredes de baixo custo, o volume ótimo e o comprimento adequado para a grande maioria das fibras naturais estão ao redor de 3% e 25 mm, respectivamente.

AGGARWAL (1995) investigou a otimização de compósitos utilizando partículas de bagaço de cana-de-açúcar, na construção civil. As primeiras placas apresentaram as seguintes características: absorção de água 12,5 – 14,5%; resistência à flexão 8,85 – 9,60 MPa e resistência à tração 1,60 – 1,14 MPa. O autor chegou às seguintes conclusões: a diminuição da absorção de água fez que a pressão ótima chegasse a 2 – 3 MPa; o aumento da proporção de fibras provocou uma diminuição da densidade e um aumento do teor da absorção de água e a resistência à flexão aumentou com o aumento do teor de fibras até atingir 16%, a partir do qual o valor da resistência começou a decrescer.

SARMIENTO (1996) caracterizou as fibras de bagaço de cana-de-açúcar para fins de

utilização em painéis de argamassa de compósito à base de cimento. As fibras passaram por todo um processo de desmedulamento, lavagem e mineralização, sendo testados diferentes traços e variadas porcentagens de fibras (0, 10, 20 e 30%, em massa). A autora chegou às seguintes considerações: a resistência à compressão simples dos compósitos de argamassa de cimento e areia, reforçada com fibras de bagaço de cana-de-açúcar, aumentou ao longo do tempo e os resultados obtidos dos ensaios de flexão atenderam às exigências das normas.

#### **3.4. INCOMPATIBILIDADE QUÍMICA DOS MATERIAIS DE ORIGEM VEGETAL COM A MATRIZ DE CIMENTO**

Segundo BERALDO et al. (1996), tanto a biomassa vegetal como o cimento tem características e propriedades que influenciam o comportamento do compósito criando incompatibilidades, que devem ser consideradas e estudadas. A presença de substâncias químicas, como o açúcar, pode retardar ou mesmo inibir a pega do cimento.

SAVASTANO JR et al. (1994) expuseram a importância do estudo da zona de interface da biomassa vegetal e o cimento, na qual podem ocorrer eventuais descontinuidades, dentro de uma fase ou entre as fases, tais como poros ou fissuras, as quais interferem tanto no comportamento mecânico quanto na durabilidade do material. Segundo AGOPYAN (1993), os efeitos das fibras na matriz estão relacionados ao comportamento de ambas. O autor afirmou que, basicamente, tem-se três conjuntos fibra-matriz na construção civil: **matriz frágil** como pastas, argamassas, concretos e plásticos com estrutura cristalina ou ligações cruzadas, com reforço de fibras de vidro, aço, amianto e alguns tipos de plásticos; **matriz frágil reforçada com fibras** de módulo de elasticidade similar ou até inferior ao da matriz, como as fibras plásticas comuns e as fibras vegetais; **matriz dúctil** como os plásticos e os metais, com fibras de módulos de elasticidade geralmente superior ao da matriz.

O mesmo autor afirmou que, se as fibras apresentarem baixo módulo de elasticidade, como no segundo caso, acima descrito, não haverá alteração das propriedades da matriz antes que ocorra sua ruptura; porém, após isso, as fibras, se estiverem em quantidade suficiente, poderão suportar as cargas aplicadas, conferindo ao compósito propriedades dúcteis. Neste

caso não se procura melhorar as resistências estáticas da matriz, mas apenas aumentar a sua ductibilidade e, conseqüentemente, a sua tenacidade.

Na revisão bibliográfica do trabalho de SARMIENTO e FREIRE (1996), estão relatados os diferentes tratamentos físicos ou químicos para evitar a incompatibilidade química com o cimento. Tais tratamentos são também mencionados por diversos autores, em reiterados trabalhos e bibliografias, podendo ser: lavagem, torrefação, pulverização e impregnação. Os objetivos dos métodos são: proteger as fibras vegetais contra a agressividade do meio alcalino promovido pelo cimento; imobilizar a matéria orgânica constituinte reduzindo sua capacidade de absorção de água; reduzir ao mínimo a sua interferência nas reações de pega e endurecimento do cimento e melhorar a qualidade do compósito produzindo em relação à durabilidade, resistência ao fogo e resistência ao ataque de microrganismos.

### 3.5. PISOS

Piso é um lugar em que se anda; é uma superfície qualquer, contínua ou descontínua, construída com a finalidade de permitir o trânsito pesado ou leve. É considerado de trânsito pesado o piso submetido às condições severas de desgaste, devido aos danos mecânicos ou ao ataque de agentes químicos, por exemplo, o piso industrial. O de trânsito leve é considerado o de residências e escritórios, sujeitos a pequenos desgastes.

No site <http://www.dabus.com.br/dicas/dicas.html> foram encontrados os materiais de construção mais utilizados em revestimentos para pisos que são:

- |                       |                      |            |             |
|-----------------------|----------------------|------------|-------------|
| ? Cimento queimado    | ? Granilite          | ? Pedra    | ? Tijolo    |
| ? Mosaicos de vidro   | ? Mármore            | ? Cerâmica | ? Assoalhos |
| ? Ladrilho hidráulico | ? Carpetes e tapetes | ? Tábuas   | ? Tacos     |
| ? Carpete de Madeira  | ? Pisos flutuantes   | ? Laminado | ? Parquet   |

Na literatura científica não se tem o conhecimento sobre o desenvolvimento de uma placa para piso de argamassa de cimento e fibras de bambu/compósitos. O assunto ainda não

foi abordado, sendo a preocupação dos pesquisadores normalmente definir o uso de placas para vedação.

BERALDO et al. (2000) utilizaram um compósito com casca de arroz, cimento e areia para a confecção de um contrapiso. A metodologia utilizada foi a seguinte: após a compactação do solo foi colocada uma camada de brita, seguida pela colocação do compósito. O autor utilizou esse compósito no piso interno e na calçada ao redor da construção do protótipo de bambu de 3,00 x 4,00 m<sup>2</sup>, situada no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP.

### 3.6. DESGASTE ABRASIVO EM PISOS

Segundo KOGA (2001), os principais processos de desgaste encontrados na literatura técnica classificam-se em: **Adesivo** ocorre pela transferência de material de uma superfície para outra durante o movimento relativo, devido à formação de junções na fase sólida; **Fadiga** ocorre através da remoção de partículas devido às variações cíclicas de carga; **Corrosivo** ocorre quando predominam as reações químicas ou eletroquímicas com o meio; **Abrasivo** ocorre pela retirada de material devido a partículas duras ou protuberantes forçadas contra uma superfície sólida e em movimento relativo com ela; **Erosivo** ocorre quando um corpo é desgastado pelas interações mecânicas com fluido, com um ou mais componentes, ou pelo impacto sucessivo de partículas sólidas ou líquidas.

Entende-se por desgaste de abrasão superficial em pisos quando um ou vários objetos, pessoas, transitam pelo mesmo até que ocorra o desgaste visual da peça. Não se refere somente à perda de brilho ou à quantidade de riscos que a peça possa ter.

Todas as indústrias fabricantes de cerâmicas, por exemplo, tem em sua especificação a classificação do PEI em sua etiqueta. A sigla PEI significa Instituto de Porcelana e Esmalte, e classifica o desgaste superficial da camada de esmalte sobre a peça. Ele pode variar de 0 a 5 em escala crescente. O “0” indica que o material somente poderá ser colocado em paredes, enquanto que o “5” indica que ele poderá ser colocado em shoppings, hipermercados, etc.

Segundo FRICK (1969), a grande quantidade de métodos desenvolvidos em várias partes do mundo, nem sempre levou a resultados coerentes entre si. Fatores como material, tipo, quantidade de abrasivo, tamanho das partículas, pressão dos dispositivos, entre outros, podem influenciar o resultado. Para medir o desgaste, o fator principal está na correlação entre a ação do desgaste e a perda do material resultante de algum tipo de ação abrasiva.

Segundo IRWIN (1976), existem pelo menos vinte tipos de máquinas para medir a resistência de um piso. Esse autor ressaltou, também, que o desenvolvimento maior das máquinas aconteceu a partir de 1961, com os resultados publicados pelo “International Study Committee for Wear Tests of Flooring Materials”.

FRICK (1969) testou alguns pisos através de rodas abrasivas com carga em uma máquina do tipo Taber Abraser, utilizando grãos de areia sobre a amostra. A areia possui um grau de dureza na escala Mohs de 5 a 6 e pode ser considerada um dos materiais mais fáceis de se encontrar na natureza. Causa perda do brilho na peça e, conseqüentemente, seu desgaste. A norma ASTM C501-84, método de teste padrão para a resistência ao desgaste em pisos de cerâmica pela Taber Abraser, está sendo utilizada pela “Bamboo Flooring International”, empresa que trabalha há mais de 30 anos nos EUA, com pisos de bambu manufaturados na Ásia (KOGA, 2001).

### **3.7. TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS**

Um dos grandes avanços obtidos nos últimos anos na caracterização de materiais, tanto do ponto de vista mecânico quanto de qualidade, é a aplicação de técnicas não destrutivas, denominadas internacionalmente como NDT – Non Destructive Testing e NDE – Non Destructive Evaluation, destacando-se, dentre elas, o uso do ultra-som, principalmente em pesquisas sobre o concreto. Esta técnica não destrutiva é útil na classificação e estudo de diversos materiais isotrópicos, tais como o aço, materiais cerâmicos e plásticos. Com isso a avaliação tem sido utilizada para detectar a presença de descontinuidades, vazios ou impurezas.

Segundo ROSS et al. (1998), a avaliação não destrutiva é definida como sendo a ciência de identificação das propriedades físicas e mecânicas de uma peça de determinado

material, sem alterar suas capacidades de uso. A técnica utilizando o ultra-som trata de um fenômeno físico que auxilia na determinação da resistência e rigidez das peças, bem como possibilita a detecção de aspectos de qualidade. Pesquisadores passaram a utilizar o ultra-som na madeira, para poder detectar aspectos de qualidade como nós, desvios de fibras, etc. E com esta mesma finalidade têm-se aplicado este ensaio nos compósitos.

Segundo BERALDO (1997a), a vantagem no uso dos métodos não destrutivos, como é o caso do ultra-som, reside no fato de que eles oferecem uma avaliação correta da qualidade do material. O autor citou que o equipamento de ultra-som emite um pulso de vibração longitudinal, produzido por um transdutor eletroacústico que deve ser mantido em contato íntimo com o material. O impulso é, então, captado por outro transdutor, sendo convertido em sinal elétrico e em unidades de tempo. Esse tempo de propagação do som no material (e a conseqüente velocidade) pode caracterizá-lo servindo de parâmetro para a avaliação das suas propriedades mecânicas. Segundo o autor, o ensaio revela grandes potencialidades sempre que venha acompanhado de correlações com outros ensaios.

Por outro lado ZUCCO (1999), na aplicação do ensaio de ultra-som em compósitos fabricados com argamassa e casca de arroz, não encontrou correlação alguma entre densidade ou a velocidade de propagação da onda com o módulo de ruptura das placas, nos ensaios à flexão. Provavelmente a forma de compactação das chapas tenha afetado os resultados.

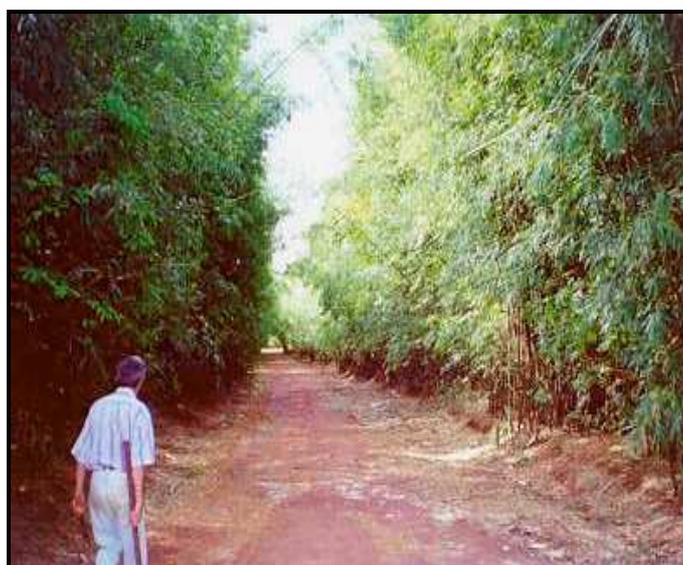
BODIG e JAYNE (1993), no entanto, indicaram que as técnicas mais comuns, utilizadas para correlacionar ensaios não destrutivos com ensaios destrutivos, consistem de uma análise de regressão (normalmente linear) dos resultados de ambos os ensaios. Como aspecto significativo, destacaram que os ensaios de ultra-som apresentam confiabilidade, recomendando-se sua utilização no estabelecimento de correlações.

## 4 - MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. MATERIAIS

#### 4.1.1. PARTÍCULAS DE BAMBU

O bambu utilizado foi da espécie *Bambusa tuldoides*, retirado da Fazenda Santa Elisa, do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), na cidade de Campinas, Estado de São Paulo, em 18 de Outubro de 2000 (Figura 1).



**Figura 1.** Touceiras de *Bambusa tuldoides*.

**Foto:** Sandra Martins.

#### 4.1.2. CIMENTO E AREIA

Para as misturas foram utilizados os cimentos Portland CP II-E-32 (cimento composto com escória), marca Votorantin, e CP V-ARI (cimento de alta resistência inicial), marca Cauê. As características físicas, químicas e mecânicas dos mesmos atendem, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), aos requisitos especificados nas normas NBR 11578 (cimento Portland composto) e NBR 5733 (cimento Portland de alta resistência inicial) da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), respectivamente.

A areia calibrada foi adquirida em casa de material de construção e fornecida pela empresa Braston de Barão Geraldo, fabricante de pisos de concreto.

#### 4.1.3. ÁGUA

Utilizou-se água potável, limpa, isenta de teores nocivos de sais, ácidos ou matéria orgânica, para a confecção das misturas, assim como na diluição da soda cáustica.

#### 4.1.4. EQUIPAMENTOS

Vários materiais foram utilizados durante o experimento (pá, facão, etc.), para o preparo prévio (reservatório com água com concentração de 5% de soda cáustica, vasilhas de plástico para a seleção dos materiais como areia, cimento e sacos plásticos para o acondicionamento das fibras), e para a moldagem dos corpos-de-prova (fôrmas previamente untadas com óleo desmoldante, etc.).

Para ensaios de laboratório foram utilizados os seguintes equipamentos:

- ? Abrasímetro W, marca GABRIELLI – ITALY (pertencente à Cerâmica Portobello, situada na cidade de Tijucas/SC);
- ? Agitador mecânico de peneiras, marca Solotest;
- ? Aparelho de resistência à flexão, marca GABRIELLI – ITALY (pertencente à Cerâmica Portobello);
- ? Balança de precisão, com sensibilidade de 0,01 g, marca Marte;

- ? Estufa, com termostato regulável, marca Fanem, modelo 315 SE;
- ? Máquina Ensiladeira EM-9/F3, rotação 1400 rpm, marca Irmãos Nogueira,;
- ? Máquina modelo DPM – 500-1, marca Irmãos Nogueira (IAC);
- ? Máquina picadeira semi-industrial (Instituto Agronômico de Campinas);
- ? Máquina para determinação do ensaio de resistência à abrasão profunda, modelo CAP, marca GABRIELLI – ITALY (pertencente ao Centro Tecnológico de Cerâmica em Criciúma/SC);
- ? Máquina medidora do coeficiente de restituição para determinação do ensaio de resistência ao impacto (desenvolvida pelo Centro Tecnológico de Cerâmica em Criciúma/SC);
- ? Mesa vibratória, fogão industrial, marca DAKO e Cronômetro, marca Starret;
- ? Moldes para corpos-de-prova, com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura;
- ? Paquímetro digital marca DIGIMESS, com sensibilidade de 0,01 mm;
- ? Prensa universal HECKERT, marca Dynatest Indústria Comércio Ltda, com dispositivo de controle de velocidade de carregamento e capacidade de 25.000 kgf;
- ? Serra Circular, modelo GT 1300, marca ROCCO;
- ? Socador para a moldagem e desmoldagem dos corpos-de-prova;
- ? Ultrasonic Tester BP –7, equipamento de emissão de ondas de ultra-som, marca STEINKAMP, frequência de 45 kHz, dispondo de sensores de seção exponencial;

## **4.2. MÉTODOS**

### **4.2.1. PROCEDIMENTOS DO CORTE DOS COLMOS DE BAMBU NO IAC (INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS)**

Depois de retirado o bambu da Fazenda Santa Elisa do Instituto Agronômico de Campinas, os colmos de diversas touceiras foram cortados seguindo o processo descrito nas Figuras 2a, 2b, 2c.



2a) Colmo cortado com facão.

2b) Colmo passado na máquina picadeira.

2c) Máquina DPM-500-1-IAC.

**Figura 2.** Processo do corte dos colmos de bambu até chegar aos cavacos.

**Foto:** Sandra Martins.

Foram selecionados 10 colmos de bambu sendo 3 colmos triturados ainda verdes e passados em máquina DPM-500-1 - picadora semi-industrial, no IAC. Uma pequena parte dos cavacos foi passado na Máquina Nogueira no IAC, onde se efetuou a redução do tamanho das partículas. Esse processo fez com que a secagem acontecesse de forma mais rápida e não precisasse passar pela máquina ensiladeira EN-9/F3. Após a trituração dos colmos, o material foi levado para UNICAMP, onde foi espalhado sobre uma lona, para efetuar a secar.

#### 4.2.2. PROCEDIMENTOS DO CORTE DOS COLMOS DE BAMBU NA FEAGRI

Os colmos que chegaram do IAC foram passados na serra circular Rocco e pela máquina ensiladeira, Figuras 3a, 3b, e 4a, 4b, 4c.



3a) Colmos sendo cortados na serra.

3b) Concentração fibras camada externa.

**Figura 3.** Corte dos colmos na serra circular Rocco.



4a) Máquina ensiladeira.

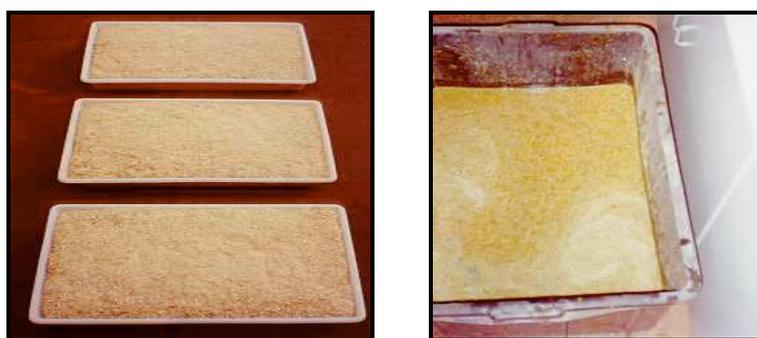
4b) Detalhe do fracionamento.

4c) Partículas fracionadas.

**Figura 4.** Máquina ensiladeira, marca Irmãos Nogueira.**Foto:** Sandra Martins.

#### 4.2.3. TRATAMENTO DAS PARTÍCULAS DE BAMBU COM HIDRÓXIDO DE SÓDIO (SODA CÁUSTICA)

Tomando-se como referência o trabalho de AZZINI e GONDIM TOMAZ (1996), adicionaram-se partículas secas de bambu a uma solução aquosa de 5% de hidróxido de sódio (soda cáustica comercial em escamas, marca Kaveira). Uma quantidade de partículas foi pesada e deixada imersa por períodos de 6, 12, e 24 h (Figura 5a,5b).



5a) Fibras separadas em 3 quantidades.

5b) Fibras imersas em solução.

**Figura 5.** Preparação do tratamento com hidróxido de sódio.**Foto:** Sandra Martins.

O processo exigiu a utilização de alguns equipamentos de segurança, tais como, luvas e máscaras, devido ao odor desagradável e à corrosão causada pela soda cáustica. As

partículas foram retiradas e colocadas sobre uma peneira, na qual foram lavadas em água corrente e colocadas para secar ao ar livre sobre uma lona em local abrigado, o mesmo procedimento foi adotado para os tratamentos de 12 e 24 h.

#### 4.2.4. TRATAMENTO DAS PARTÍCULAS DE BAMBU COM ÁGUA QUENTE

De acordo com a metodologia proposta por BERALDO e ROLIM (1996), o tratamento consistiu na imersão das partículas de bambu em água quente à temperatura de 80 °C, durante um período de 2 h e adotada uma concentração de 100 g/L. Este processo foi utilizado para tentar eliminar substâncias químicas inibitórias à pega do cimento. Logo após essa operação, o material foi passado em água corrente e colocado para secar.

#### 4.2.5. ENSAIO DE TEOR DE UMIDADE DAS PARTÍCULAS

O ensaio foi realizado no Laboratório LEME da FEAGRI e as amostras de partículas de bambu foram divididas em dois grupos denominados: Partículas IAC (partículas obtidas na máquina do Instituto Agrônomo de Campinas) e partículas FEAGRI (partículas obtidas na máquina da Faculdade). O material foi pesado (100 g) e depois levado à estufa FANEM modelo 315 SE, em temperatura regulada para 70 °C durante 48 h. Logo após esse período o material foi retirado e novamente pesado.

O teor de umidade foi definido pela equação:

$$h = \frac{M_u - M_{seca}}{M_{seca}} * 100$$

Onde:

$h$  = teor de umidade, em porcentagem;

$M_u$  = massa inicial da amostra em (g);

$M_{seca}$  = massa final seca à temperatura de 70 °C.

#### 4.2.6. DISTRIBUIÇÃO EM TAMANHO DAS PARTÍCULAS DE BAMBU

As análises foram feitas de forma semelhante àquela explicitada pela norma NBR 7217 (ABNT, 1987), Agregados: determinação da composição granulométrica, método de ensaio, a qual fixa o modo pelo qual se procede à análise granulométrica de solos, uma vez que não se dispõe de uma norma específica para as partículas de bambu. As partículas de bambu foram submetidas a um processo de peneiramento para separá-las por tamanho, no agitador de peneiras da marca Solotest, caracterizando, assim, o material para ser incorporado na argamassa. O tamanho dos agregados influi tanto no aspecto estético de acabamento da peça, como nas propriedades dos compósitos. Na Tabela 1 tem-se a relação das peneiras.

**Tabela 1.** Peneiras utilizadas.

Abertura (mm)	ABNT	Símbolo adotado
4,80	4	# 4
2,40	8	# 8
1,20	16	# 16
0,60	30	# 30
0,30	50	# 50
0,15	100	# 100
Fundo	Fundo	Fundo

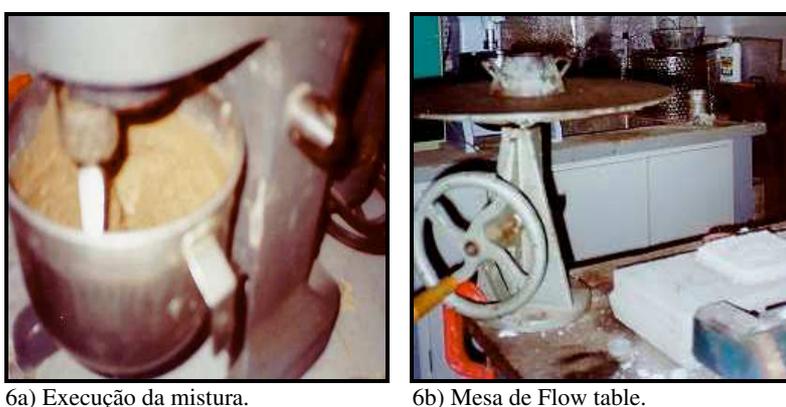
Desta forma, determinou-se o diâmetro máximo das partículas (peneira que conteve um percentual retido acumulado igual ou imediatamente inferior a 5% em massa), bem como o módulo de finura (soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras, dividida por 100).

Para fins comparativos procedeu-se, igualmente, ao ensaio de granulometria da areia a ser utilizada na confecção da argamassa de cimento Portland.

#### 4.2.7. DETERMINAÇÃO DO TRAÇO

O traço utilizado foi de 1:3 em massa (cimento/areia), para a confecção do compósito. As porcentagens de fibras foram fixadas em 8%, 16% e 24%, (em relação ao cimento). Foi definida a relação água/cimento conforme trabalho desenvolvido por SAVASTANO JR e PIMENTEL (2000), que utilizaram relação água/cimento para misturas à base de fibras de

sisal de 0,5. PIMENTEL (2000), por sua vez, utilizou a relação água/cimento igual a 0,79 para argamassa de cimento, areia e resíduos de *Pinus caribaea*, para a fabricação de telhas onduladas. A quantidade de água foi definida através de ensaio de trabalhabilidade da norma NBR 7215, anexo B, ABNT - mesa flow table e ajustada, durante o processo, iniciando com 0,60, 0,75 e 0,90. Os procedimentos do ensaio de consistência (flow table) estão mostrados nas Figuras 6a, 6b.



**Figura 6.** Processo do ensaio de norma 7215 da ABNT, 1996.

**Foto:** Sandra Martins.

As misturas foram feitas manualmente com 1.100g de cimento CP V-ARI e CP II-E-32, 3.300 g de areia média, 8% de partículas de bambu (88 g) e mais 660 g de água inicialmente, para depois alterar as relações para 16% e 24% de fibras.

A seqüência de mistura utilizada foi: **[(cimento + areia) + fibras ] + água.**

Foi utilizada a metodologia da empresa Braston, para o processo de fabricação dos corpos-de-prova que consiste em misturar todos os materiais numa betoneira e, logo em seguida, despejar a massa sobre as fôrmas que ficam sobre uma mesa vibratória.

#### 4.2.8. PROCEDIMENTOS APLICADOS AOS TRATAMENTOS

Foram estudados 26 tratamentos, descritos a seguir na Tabela 2. Para cada dia de ensaio foram realizados 45 corpos-de-prova, sendo 15 corpos-de-prova para cada tratamento.

Nove corpos-de-prova cilíndricos foram destinados aos ensaios de resistência à compressão, três destinados à absorção de água, três destinados à compressão diametral e três aproveitados para o ensaio de ultra-som.

**Tabela 2.** Descrição dos tratamentos dos corpos-de-prova (CP II-E-32 e CP V-ARI).

<b>T 1</b>	CPII + areia + água	<b>T 14</b>	CPII + 16% fibras lavadas em água quente
<b>T 2</b>	ARI + areia + água	<b>T 15</b>	ARI + 16% fibras 6 h em soda cáustica
<b>T 3</b>	CPII + 8% fibras 6 h em soda cáustica	<b>T 16</b>	ARI + 16% fibras 12 h em soda cáustica
<b>T 4</b>	CPII + 8% fibras 12 h em soda cáustica	<b>T 17</b>	ARI + 16 fibras 24 h em soda cáustica
<b>T 5</b>	CPII + 8% fibras 24 h em soda cáustica	<b>T 18</b>	ARI + 16% fibras lavadas em água quente
<b>T 6</b>	CPII + 8% fibras lavadas em água quente	<b>T 19</b>	CPII + 24% fibras 6 h em soda cáustica
<b>T 7</b>	ARI + 8% fibras 6 h em soda cáustica	<b>T 20</b>	CPII + 24% fibras 12 h em soda cáustica
<b>T 8</b>	ARI + 8% fibras 12 h em soda cáustica	<b>T 21</b>	CPII + 24% fibras 24 h em soda cáustica
<b>T 9</b>	ARI + 8% fibras 24 h em soda cáustica	<b>T 22</b>	CPII + 24% fibras lavadas em água quente
<b>T 10</b>	ARI + 8% fibras lavadas em água quente	<b>T 23</b>	ARI + 24% fibras 6 h em soda cáustica
<b>T 11</b>	CPII + 16% fibras 6 h em soda cáustica	<b>T 24</b>	ARI + 24% fibras 12 h em soda cáustica
<b>T 12</b>	CPII + 16% fibras 12 h em soda cáustica	<b>T 25</b>	ARI + 24% fibras 24 h em soda cáustica
<b>T 13</b>	CPII + 16% fibras 24 h em soda cáustica	<b>T 26</b>	ARI + 24% fibras lavadas em água quente

#### 4.2.9. MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS

A moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, seguiu os procedimentos indicados pela norma NBR 7215 (ABNT, 1996), no que diz respeito aos moldes, capeamento e determinação da carga de ruptura.

Os moldes foram previamente untados com óleo mineral desmoldante, para receber as misturas. Foram feitos 390 corpos-de-prova mediante as variações das porcentagens das fibras (8%, 16% e 24%), os tratamentos (imersão em soda cáustica 6, 12, 24 h e imersão por 2 h em água quente) e do tipo de cimento (CP II-E-32 e CP V-ARI).

No experimento as fôrmas foram colocadas sobre uma mesa vibratória, projetada para o processo de fabricação de telhas, conforme detalhado nas Figuras 7a e 7b.



7a) Mesa vibratória para telhas adaptada.



7b) Corpos-de-prova durante o processo.

**Figura 7.** Processo de fabricação dos corpos-de-prova.

**Foto:** Sandra Martins.

#### 4.2.10. CURA DOS CORPOS-DE-PROVA

Os corpos-de-prova foram desmoldados depois de 24 horas e dispostos em câmara úmida por 7 dias. Em seguida, foi efetuada a cura ao ar livre (21 dias), até a data dos ensaios. Foram retirados três corpos-de-prova de todos os tratamentos no 3º, 7º e 28º dias, os quais foram capeados com a mistura aquecida de enxofre e caulim e ensaiados à compressão simples.

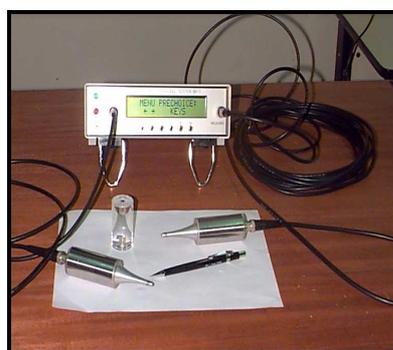
#### 4.2.11. ENSAIOS NOS CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS

Foram realizados os seguintes ensaios nos corpos-de-prova:

- ? Determinação da velocidade de propagação da onda ultra-sônica;
- ? Determinação da absorção de água;
- ? Determinação da resistência à compressão simples tendo-se por base a norma NBR 7215 (ABNT);
- ? Determinação da a resistência à tração na compressão diametral tendo-se por base a norma NBR 7222 (ABNT).

## ? DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DA ONDA POR ULTRA-SOM

Na medição do tempo de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova cilíndricos, utilizou-se o equipamento Ultrasonic Tester, modelo BP-7, da STEINKAMP, com transdutores de seção exponencial com frequência de ressonância de 45 kHz (Figuras 8a e 8b).



8a) Equipamento de ultra-som.



8b) Equipamento sendo utilizado.

**Figura 8.** Equipamento de ultra-som Ultrasonic Tester, modelo BP-7.

**Foto:** Carlos Puccini.

O ensaio de ultra-som visou detectar os possíveis defeitos nos corpos-de-prova, além de permitir o acompanhamento da etapa de endurecimento da mistura, sem destruir o material.

O ensaio de ultra-som foi realizado nos corpos-de-prova correspondentes a todos os 26 tratamentos, durante 7 dias consecutivos e também no 28º dia antes da realização do ensaio de compressão. Este acompanhamento teve como objetivo verificar a possibilidade de avaliar a resistência à compressão nos corpos-de-prova em substituição ao método destrutivo.

## ? DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA

Foi realizado pesando-se três corpos-de-prova secos ao ar correspondentes aos 26 tratamentos efetuados e depois deixá-los imersos durante 2, 6, 12, 24, 48, 72, 96, 120 h. Os corpos-de-prova foram retirados e pesados nos horários correspondentes; estes foram

enxugados superficialmente. O ensaio, em seguida, foi realizado de acordo com a norma NBR 9778 – Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água por imersão.

### ? DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

A resistência à compressão simples foi calculada individualmente dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova, conforme os procedimentos da norma NBR 7215 da ABNT. A resistência foi determinada pela média aritmética das resistências individuais dos três corpos-de-prova, ensaiados na mesma idade.

### ? DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL

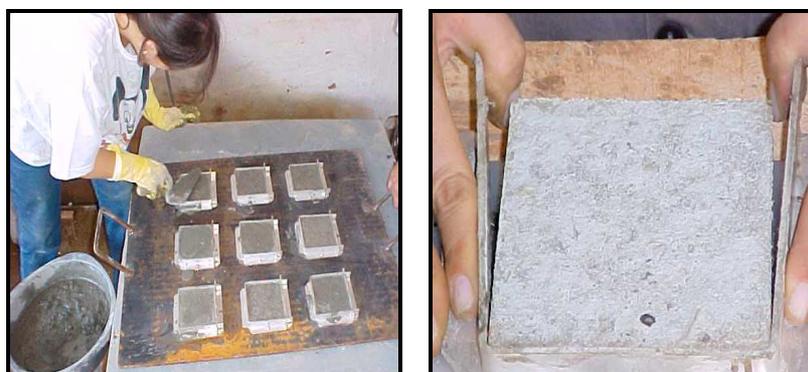
O ensaio foi conduzido de acordo com a norma NBR 7222 da ABNT. Foi utilizada a prensa universal Heckert, da marca Dynatest, para ensaios de tração por compressão com capacidade de carregamento de 25.000 kgf. A mensuração da resistência à tração normalmente é importante para os casos de obras especiais como pavimentos de aeroportos, rodovias e pisos industriais. Quando comparado ao de tração direta, raramente utilizado, principalmente porque os dispositivos de fixação do corpo-de-prova introduzem tensões secundárias que não podem ser ignoradas, o ensaio de tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos é uma alternativa usual na estimativa da resistência à tração. A resistência pela tração direta é da ordem de 60% da resistência obtida pela tração na compressão diametral. A resistência à tração é calculada pela expressão de autoria de LOBO CARNEIRO, decrita na NBR 7222.

$$f_{t.D} = \frac{2.F}{d.L}$$

Nesse ensaio, o contato do corpo-de-prova com as tiras de madeira deve-se dar somente ao longo de duas geratrizes diametralmente opostas, de comprimento igual à amostra. As tiras de madeira são presas com fita adesiva.

#### 4.2.12. PROCEDIMENTOS DE FABRICAÇÃO DAS PLACAS DE PISO

As fôrmas foram desenvolvidas no Laboratório de Protótipos da FEAGRI. A escolha das dimensões das fôrmas para a confecção das placas de piso levou em consideração o fato de que, nos ensaios haveria uma limitação quanto à geometria das peças. Desse modo adotou-se, para a seqüência do trabalho, a confecção de placas com dimensões de 10 cm x 10 cm x 3 cm apresentadas nas Figuras 9a, 9b.



9a) Preenchimento das fôrmas.

9b) Placas sendo retiradas.

**Figura 9.** Processo de fabricação do piso.

**Foto:** Flávia Vieira.

#### 4.2.13. ENSAIOS APLICADOS ÀS PLACAS

Para realizar os ensaios das placas de piso, houve a necessidade de adaptar a norma NBR 13818 (ABNT, 1997), por não existir uma norma específica para o tipo de material deste trabalho. Os ensaios não foram realizados nas placas relativas aos 26 tratamentos, mas somente com aquelas que apresentaram os melhores resultados nos ensaios dos corpos-de-prova.

Os tratamentos para as placas utilizadas foram:

- ? **T 10** (ARI + 8% de fibras tratadas em água quente);
- ? **Peças Especiais** (peças com 1/3 de sua espessura de camada de argamassa com relação água/cimento de 0,5 mais 2/3 da espessura preenchida com T 10).

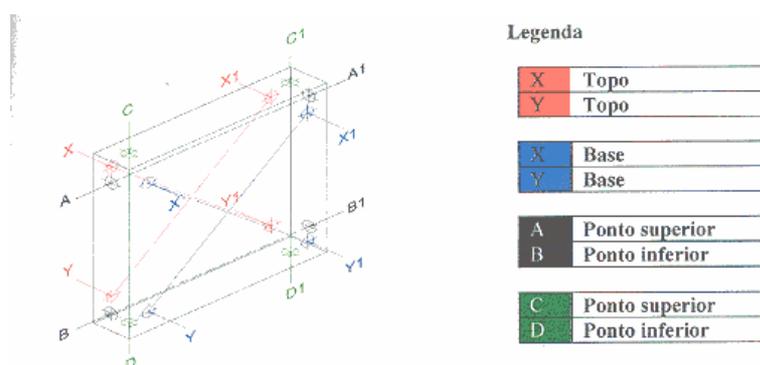
**OBS:** Este foi um tratamento novo desenvolvido somente para as placas e, portanto, não descrito na Tabela 2;

- ? **Peças da empresa Braston** (peças de microconcreto de formato irregular com medidas aproximadamente de 25 cm x 10 cm x 3cm).

As amostras da empresa Braston e as peças especiais foram consideradas doravante como testemunhas para todos os ensaios das placas descritos a seguir. Todos os anexos descritos no texto referem-se à norma - NBR 13818 (ABNT, 1997). As metodologias dos ensaios das placas estão descritas nos itens a seguir.

### ? DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DA ONDA POR ULTRA-SOM

No Laboratório LEME da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP foram realizados os ensaios de ultra-som. É muito importante observar que a velocidade de propagação do ultra-som, bem como a atenuação da onda, são influenciados pela geometria do corpo-de-prova, pelo material utilizado na interface corpos-de-prova transdutor e pela frequência do equipamento utilizado. As placas de 10 cm x 10 cm e até 3 cm de espessura foram assim determinadas através dos pontos de apoio do transdutor de seção exponencial de 45 kHz, conforme descrito na Figura 10.



**Figura 10.** Vista de todos os pontos onde se aplicou o ultra-som.

**Desenho:** Antonio Néri.

## ? DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO

Foram realizados os ensaios de resistência à flexão no Laboratório da Cerâmica Portobello de acordo com a norma NBR 1381, o ensaio foi efetuado na máquina GABRIELLI modelo CRAB 424. Durante o ensaio as peças foram posicionadas de maneira que o carregamento fosse aplicado no centro da peça; este se efetuou lentamente até o contato inicial com a peça e, a seguir, prosseguiu automaticamente. A máquina fornecia diretamente o valor da resistência à flexão, em MPa, depois de digitadas a largura da peça, sua espessura e o vão livre deixado. O vão livre foi de 97 mm para as placas de 10 cm x 10 cm x 3 cm. (Figura 11a e 11b).



11a) Máquina Resistência à flexão. 11b) Corpo-de-prova durante ensaio.

**Figura 11.** Placas posicionadas na prensa para serem ensaiadas à flexão.

**Foto:** Ferreira – Laboratório da Portobello.

## ? DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À ABRASÃO SUPERFICIAL

No Laboratório da Cerâmica Portobello foram realizados os ensaios de resistência à abrasão superficial de acordo com a norma NBR 13818, na máquina GABRIELLI Abrasímetro modelo W. Nesse equipamento pode-se colocar até 9 corpos-de-prova de dimensões de, no máximo, 15 cm x 15 cm, desde que a sua espessura não ultrapasse 3 cm.

Da resistência à abrasão depende a durabilidade de um produto, em condições normais de uso. A escolha do PEI adequado pode proporcionar beleza e vida ao piso por muitos anos. Do contrário, pode condenar um produto de alta qualidade a uma vida útil muito limitada.

Nesse ensaio se determina a resistência superficial do esmalte da peça. Porém, cabe ressaltar que as peças deste experimento diferenciam-se, pois não possuem uma camada de esmalte e também não foram prensadas e nem queimadas a uma alta temperatura.

Este ensaio de abrasão superficial foi realizado para tentar encontrar algum tipo de comparação visual entre as peças. Na Tabela 3 apresenta-se a correspondência do PEI<sup>1</sup>.

**Tabela 3.** Valores e correspondência do PEI.

Nº de giros	Mudanças de Aspecto	Classe de Circulação	Onde Utilizar
100	Sim	Não serve p/ piso	Paredes
	Não	PEI 1	
150	Sim	PEI 1	Pisos, suite e paredes
	Não	PEI 2	
600	Sim	PE 2	Corredores, salas, dormitórios
	Não	PEI 3	
1500	Sim	PEI 3	Corredores, salas, dormitórios
	Não	PEI 4	
12000	Sim	PEI 4	Farmácias e bancos
	Não	Ensaio de manchamento	
<b>Ensaio de Manchamento</b>			
12000 giros	Não Limpa	PEI 4	Comércio e cozinhas
	Limpa	PEI 5	Aeroportos e rodoviárias

O ensaio foi iniciado com 3 amostras de 10 cm x 10 cm colocadas no aparelho a 600 giros e depois de presas as peças, colocou-se quantidades de esferas de aço de variados tamanhos, previamente secas, limpas e isentas de oxidação, mais 3 g de córindon (pó mineral de grande dureza) e mais 20 g de água limpa. O aparelho foi ligado para 600 giros. E, assim, procedeu-se igualmente para 1500 giros e 12000 giros. Depois de finalizados os 600, 1500 e 12000 giros, as amostras foram retiradas e depositadas sobre uma peneira. Seguindo o seguinte processo: lavadas em água corrente, passando-se uma escova de cerdas de nylon para a retirada de possíveis esferas grudadas nas peças, e, finalmente, foram colocadas para secar em estufa. Cada giro determina o local de destinação do piso, conforme apresentado na Tabela 3. Pode-se observar, nas Figuras 12a e 12b, o ensaio de abrasão superficial.

<sup>1</sup> PEI significa Instituto de Porcelana e Esmalte, e classifica o desgaste da camada superficial da peça.



12a) Abrasímetro.

12b) Esferas de aço.

**Figura 12.** Máquina de Abrasão Superficial e procedimentos.

**Foto:** Ferreira – Laboratório da Portobello – SC.

Serão classificados como pertencentes ao grupo quatro (PEI 4) as amostras que resistirem ao desgaste de 12000 ciclos. O PEI 5 abrange simultaneamente a resistência à abrasão a 12000 ciclos e a resistência ao manchamento após a abrasão.

### ? DETERMINAÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO MANCHAMENTO

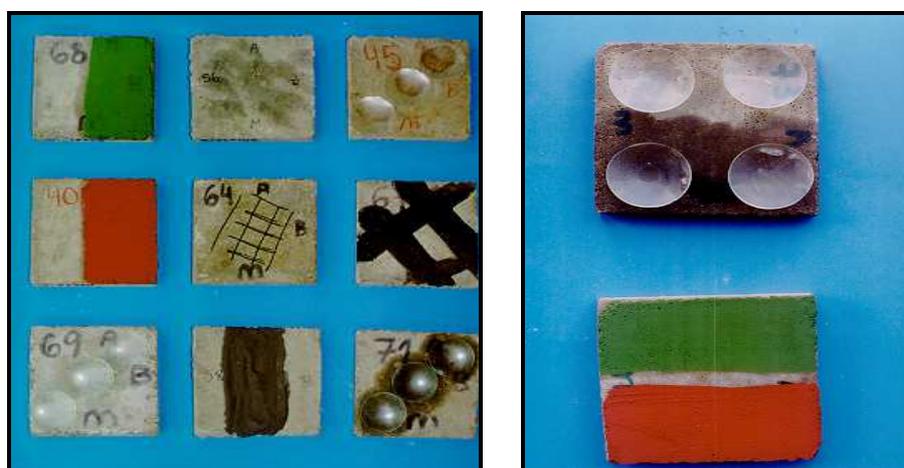
No Laboratório da Cerâmica Portobello foram realizados os ensaios de resistência ao manchamento de acordo com a norma NBR 13818. Existem quatro agentes manchantes que são utilizados: Óxido de cromo; Óxido de ferro; Agentes de ação oxidante, como o iodo; solução alcoólica a 13 g/L; Agentes com formação de película, ou seja, azeite de oliva.

O ensaio consiste em pingar algumas gotas de cada um dos agentes manchantes sobre a superfície da peça e colocar um vidro convexo de relógio, sobre a área onde foram aplicados os produtos, deixando-os por 24 h. Outros agentes manchantes podem ser utilizados mediante entendimento prévio com o interessado. Durante os ensaios realizados na Portobello são utilizados outros agentes manchantes principalmente nos produtos de porcelanato. São eles: Caneta marca Pilot; Café marca Mellita; Rejunte marca Portokoll; Nugett marca Poliflor;

Martelo de borracha de assentamento. O ensaio deste experimento foi realizado com todos os agentes manchantes da norma e mais os que a Portobello realiza. Após esse processo as amostras foram submetidas, sucessivamente, aos processos de limpeza. Apesar da placa de piso estar voltada para o meio rural, a facilidade de limpeza deverá ser um dos determinantes fortes para a sua especificação. Na Tabela 4 estão apresentados os agentes de limpeza e nas Figuras 13a, 13b os agentes manchantes.

**Tabela 4.** Classes de limpeza e seus agentes.

Classes de Limpeza	Agentes de Limpeza
5	mancha removida com água quente/5 min.
4	mancha removida com detergente neutro.
3	mancha removida com produtos fortes à base de soda ou ácidos tipo pasta cristal.
2	mancha removida com produtos especiais, de HCl ou KOH.
1	mancha não removida, não é possível limpar



13a) Tratamento T 10 com todos os agentes. 13b) Peças Especiais com agentes da norma.

**Figura 13.** Amostras T 10 e peças especiais.

**Foto:** Ferreira - Laboratório da Portobello.

Conforme a norma, o limite de limpabilidade deve ser maior ou igual a 4, isto é, a limpeza deverá ser feita com detergente neutro.

## ? DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO

No Laboratório da Cerâmica Portobello foram realizados os ensaios de resistência ao ataque químico, também determinados pela NBR 13818. O ensaio consistiu em atacar as peças com três tipos de ácidos e deixá-los em contato sobre as amostras por um determinado tempo. As amostras com ácido cítrico ficaram em contato com a superfície da peça por 24 h; os outros agentes como, hidróxido de potássio e ácido clorídrico foram deixados em contato com a superfície da peça por 4 dias.

Todos os ensaios foram realizados na face correspondentes à base da placa (fundo da fôrma), na parte mais lisa. Nas amostras da empresa Braston utilizou-se uma massa para vedação, da marca Brascola Ltda – Brascoved 1018 para melhor fixação dos copinhos. Isto foi efetuado para se conseguir realizar dois ensaios com produtos diferentes na mesma peça. Os agentes de limpeza a serem utilizados não podem conter ácido hidrófluorídrico ou seus componentes, pois atacam a superfície das peças. Na Figura 14 pode-se avaliar como foram realizados os ensaios.



**Figura 14.** Ensaio de resistência ao ataque químico.

**Foto:** Ferreira – Laboratório da Portobello.

## ? DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA

No Laboratório Cerâmica Portobello foram realizados os ensaios de acordo com a norma NBR 13818, determinação da absorção de água. O ensaio consistiu em secar as peças

em estufa, anotar a massa seca e, em seguida, imergir por duas horas as placas em água fervendo. Logo em seguida as peças foram colocadas sob uma torneira até que atingissem a temperatura ambiente. A seguir, foram secas com um pano para retirar o excesso de água e pesadas novamente. A absorção foi expressa em % e calculada pela diferença entre a massa saturada e a massa seca, dividida pela massa saturada, e multiplicada por 100. A absorção de água está intimamente relacionada com outras características, como a resistência mecânica, sendo, principalmente, um indicativo dos espaços vazios presentes no material.

### ? DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À ABRASÃO PROFUNDA

Foram enviadas peças para o Centro Tecnológico de Cerâmica em Criciúma, para a realização dos ensaios de resistência à abrasão profunda e este foi conduzido de acordo com a norma NBR 138181. Nas Figuras 15a e 15b apresenta-se o aparelho de abrasão.



15a) Vista frontal do aparelho.



15b) Vista lateral do aparelho.

**Figura 15.** Aparelho de abrasão profunda.

**Foto:** Ester – CTC Centro Tecnológico de Cerâmica – Criciúma – SC.

Abrasão profunda é a perda de massa em função do uso do material. As amostras foram fixadas na máquina de ensaios de abrasão profunda, modelo CAP, marca GABRIELLI, e um material abrasivo (grãos de alumina) foram deixados cair sobre a amostra, enquanto um

disco rotativo de aço pressionava a peça. Isto fez com que ocorresse o desgaste da peça formando uma cavidade sobre a face da mesma. A resistência à abrasão profunda é expressa em volume de material removido, em milímetros cúbicos, calculados pela depressão da amostra descrita na norma.

### ? DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO IMPACTO

De acordo com a norma NBR 13818 da ABNT, a determinação do ensaio ao impacto necessita de que as amostras sejam coladas sobre blocos de concreto, por meio de adesivo de resina epóxi rígida, isenta de ingredientes flexibilizantes, e deixadas ao ar livre por três dias antes da realização do ensaio. A placa foi presa por meio de parafusos e com um cronômetro eletrônico, o aparelho solta a esfera de aço utilizando um microfone para medir o intervalo de tempo entre o primeiro e segundo impacto da esfera sobre a placa. Após soltar a esfera de aço a 1m de altura, procura-se na superfície da peça a existência de sinais de impacto. Nas Figuras 16a e 16b mostra-se o aparelho.



16a) piso colado ao bloco.



16b) Vista lateral do aparelho.

**Figura 16.** Amostra colada com argamassa e aparelho de ensaio de resistência ao impacto.

**Foto:** Ester – CTC Centro Tecnológico de Cerâmica – Criciúma – SC.

## **5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. ENSAIOS APLICADOS ÀS FIBRAS**

#### **5.1.1. SECAGEM DO BAMBU CORTADO NO IAC**

O tempo necessário para a secagem de um material depende de uma série de fatores ambientais, além de características intrínsecas ao mesmo, principalmente suas dimensões. Observou-se que as partículas mais finas demoraram de 2 a 3 dias para secar, enquanto que, para os cavacos, esse período estendeu-se para uma semana.

O processo mais indicado seria o de passar o material pelos dois tipos de máquinas do IAC e, logo em seguida, colocar as partículas para secar.

#### **5.1.2. SECAGEM DO BAMBU NO CAMPO EXPERIMENTAL DA FEAGRI**

Para a secagem do material recém chegado do IAC, os colmos foram passados por duas máquinas (serra circular Rocco e ensiladeira Irmãos Nogueira), pertencentes ao Campo Experimental da FEAGRI. A secagem dessas partículas, devido às condições atmosféricas desfavoráveis, demorou cerca de duas semanas.

#### **5.1.3. DISTRIBUIÇÃO EM TAMANHO DAS PARTÍCULAS DE BAMBU**

Os dois tipos de processamento pelos quais o bambu foi submetido forneceram materiais distintos quanto à distribuição granulométrica. Na Tabela 5 apresentam-se os

resultados da granulometria média das partículas de bambu da FEAGRI e do IAC e, pelo fato do presente trabalho abordar o uso de argamassa de cimento e areia, apresenta-se, igualmente, as características da areia utilizada.

**Tabela 5.** Distribuição média das partículas de bambu do IAC, FEAGRI e AREIA.

Peneiras (mm)	FEAGRI			IAC			AREIA		
	Retido (g)	Acumulado (g)	Passantes (%)	Retido (g)	Acumulado (g)	Passantes (%)	Retido (g)	Acumulado (g)	Passantes (%)
4,80	0,41	0,41	99,59	4,20	4,20	95,80	15,31	15,31	2,55
2,40	2,04	2,45	97,55	11,62	15,82	84,18	5,27	20,58	3,43
1,20	16,06	18,51	81,49	28,34	44,16	55,84	23,45	44,03	7,34
0,60	45,29	63,80	36,20	31,91	76,08	23,93	116,22	160,25	26,67
0,30	21,59	85,39	14,61	15,29	91,37	8,62	296,75	457,00	76,17
0,15	10,42	95,81	4,19	6,74	98,11	1,88	123,66	580,66	96,78
fundo	4,19	100,00	0,00	1,88	100,00	0,00	20,33	15,31	2,55

O módulo de finura (MF) para as partículas resultantes dos dois tipos de processamento e para a areia foi de:

**BAMBU FEAGRI**

**BAMBU IAC**

**AREIA**

$$MF = \left( \frac{\sum \% acum}{100} \right) = 2,66 \quad MF = \left( \frac{\sum \% acum}{100} \right) = 3,29 \quad MF = \left( \frac{\sum \% acum}{100} \right) = 2,13$$

Diâmetro máximo dos agregados:

**BAMBU FEAGRI**

**BAMBU IAC**

**AREIA**

Ø máx = 2,40 mm

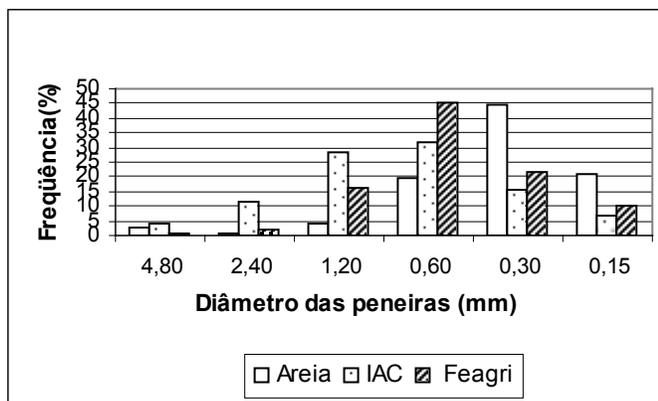
Ø máx = 4,80 mm

Ø máx = 2,40 mm

Onde:  $\Sigma$  % retida acum. = soma das porcentagens retidas acumuladas.

De acordo com a NBR 7211/83, os resultados indicaram que as partículas de bambu processadas na FEAGRI apresentaram um módulo de finura de 2,66, podendo ser consideradas como sendo um agregado miúdo médio (em termos de finura), conforme indicado pela Tabela 1-Limites granulométricos de agregado miúdo (Zona 3 - média) desta norma. As partículas processadas no IAC apresentaram módulo de finura de 3,29 e, segundo a NBR 7211/83, Tabela 1-Limites granulométricos de agregado miúdo (Zona 4 - grossa), podem ser consideradas como sendo (em termos de granulometria) um agregado miúdo grosso.

Para a utilização no compósito foram utilizadas partículas de diâmetro máximo igual a 2,40 mm. As partículas da FEAGRI e as do IAC foram misturadas, após o reprocessamento dessas últimas e a eliminação das partículas retidas na abertura de peneira de 4,80 mm. Pela NBR 7211/83 (Tabela 1), a areia utilizada no compósito pode ser considerada como sendo uma areia média sendo classificada na (Zona 3 – média). Na Figura 17 apresenta-se a frequência (%) da areia e os dois tipos de partículas (FEAGRI e IAC).



**Figura 17.** Frequência dos valores retidos em cada peneira.

Observa-se que o material processado na FEAGRI mostrou-se mais próximo do comportamento da areia, em termos de frequência de ocorrência das dimensões. Do ponto de vista prático, tal fato indica que o compósito a ser fabricado, provavelmente, diminuirá a tendência de formação de defeitos na mistura.

#### 5.1.4. TEOR DE UMIDADE DAS PARTÍCULAS DE BAMBU DO IAC E DA FEAGRI

O teor de umidade das partículas do IAC e FEAGRI, estão apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6.** Teor de umidade das partículas de bambu.

IAC			
CP	Úmido (g)	Anídra (g)	Teor de Umidade (%)
1	39,64	36,62	8,25
2	39,04	36,08	8,20
3	32,73	30,91	5,89
Média			7,45

FEAGRI			
CP	Úmido (g)	Anídra (g)	Teor de Umidade (%)
1	49,56	45,98	7,79
2	49,97	46,44	7,60
3	51,63	48,04	7,47
Média			7,62

Em ambos os casos o teor de umidade foi superior a 7%. Se o material fosse utilizado após o corte causaria alterações no traço, devido ao teor de umidade, e também pela incompatibilidade química, devido à quantidade de amido presente nas partículas de bambu. Os resultados indicaram que as partículas vegetais deveriam passar por uma secagem preliminar antes de se efetuar a fabricação do compósito.

### 5.1.5. TRATAMENTO DAS PARTÍCULAS DE BAMBU COM HIDRÓXIDO DE SÓDIO

As partículas imersas em solução aquosa de hidróxido de sódio (5%) apresentaram uma coloração mais alaranjada, mesmo após o processo de lavagem em água corrente, com o qual buscou-se retirar os resíduos da soda cáustica.

Outro aspecto relevante neste tipo de tratamento é quanto à eliminação do efluente, principalmente quando se visa um tratamento industrial, pois o produto a ser descartado poderá afetar o meio ambiente. Como procedimento e de acordo com as normas, a neutralização desse resíduo deverá ser pensada e projetada antes de se iniciar um investimento.

### 5.1.6. TRATAMENTO DAS PARTÍCULAS EM ÁGUA QUENTE

A coloração das partículas de bambu mostrou-se bem diferente daquela obtida no tratamento com hidróxido de sódio, apresentando uma cor mais clara. Esse tratamento é mais fácil de ser realizado, pois não apresenta a periculosidade inerente ao manuseio do hidróxido de sódio. Além disso, os resíduos poderão ser eliminados sem prejudicar o meio ambiente.

## 5.2. ENSAIOS APLICADOS AOS CORPOS-DE-PROVA

### 5.2.1. ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

O resultado da média aritmética das medidas de dois diâmetros do ensaio de Flow Table está apresentado na Tabela 7.

**Tabela 7.** Ensaio de Consistência (Flow Table).

Tipo de cimento	Cimento (g)	Areia (g)	Partículas bambu (g)	Água (g)	Índice de Consistência	Aspecto Visual
CPII	400	1200	32	200	148 x 145	+ p/ seca
				220	181 x 178	Mole
				240	228 x 237	+ p/ mole
				260	255 x 260	muito mole
ARI	400	1200	32	200	154 x 157	+ p/ seca
				220	162 x 167	Mole
				240	223 x 228	+ p/ mole
				260	260 x 267	muito mole

A partir dos resultados preliminares da Tabela 7, do ensaio de consistência, pode-se concluir que, em algumas situações os tipos de cimento CP V-ARI e CP II-E-32 comportaram-se de maneira diferente durante o ensaio devido às suas próprias características (finura, principalmente) e do fator água /cimento utilizado.

OBS: Doravante será adotado o termo “fibras” significando “partículas”. Porém, sob o ponto de vista anatômico, as “fibras”, na verdade, também contemplam as células parenquimatosas e os vasos.

### 5.2.2. DETERMINAÇÃO DO TRAÇO

Devido à alta capacidade de absorção de água, pelas fibras de bambu, para cada porcentagem (8%, 16% e 24%), foi utilizada uma relação água/cimento diferente.

Foi utilizado, inicialmente, o traço 1: 3 em massa (cimento/areia) para a confecção da argamassa. Na Tabela 8 são apresentadas as quantidades de materiais para os corpos-de-prova.

**Tabela 8.** Quantidade de materiais utilizados para a determinação dos corpos-de-prova.

Cimento Tipo	Cimento (g)	Areia (g)	Fibras (%)	Fibras (g)	Relação água/cimento	Água (g)
CPII	1.100	3.300	8	88	0,60	660
ARI	1.100	3.300	8	88	0,60	660
CPII	1.100	3.300	16	176	0,75	825
ARI	1.100	3.300	16	176	0,75	825
CPII	1.100	3.300	24	264	0,90	990
ARI	1.100	3.300	24	264	0,90	990

Houve boa trabalhabilidade da mistura para os cimentos CP II-E-32 e CP V-ARI, o que proporcionou, durante o processo de vibração, numa boa compactação dos corpos-de-prova.

Devido à sua natureza higroscópica as fibras de bambu absorveram quantidade considerável da água de amassamento e, em consequência, apresentaram o fenômeno do inchamento. Porém, durante a confecção dos corpos-de-prova, as fibras liberaram parte dessa água para a mistura, quantidade esta dependente do tempo de vibração aplicado no processo. No próximo item são apresentadas as médias dos resultados de todos os ensaios aplicados aos corpos-de-prova, para poder-se avaliar qual seria o tipo de tratamento mais indicado para a fabricação da placa de argamassa com partículas de bambu.

### **5.2.3. ENSAIOS EFETUADOS NOS CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS**

Os dados obtidos foram analisados e comparados pelo programa SAS. As médias foram analisadas pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade, para todos os ensaios realizados nos corpos-de-prova. A seguir, serão apresentados os resultados obtidos.

- **END – ENSAIO NÃO DESTRUTIVO - Ultra-Som**

O resultados das médias das velocidades de propagação da onda ultra-sônica, para argamassas à base dos dois tipos de cimento (CP II-E-32 e CP V-ARI), estão apresentadas separadamente nas Tabelas 9 e 14, e nas Figuras 18 e 19, respectivamente. A observação foi efetuada durante 28 dias.

Diariamente, até o 7º dia após a confecção, os corpos-de-prova foram submetidos ao END – Ultra-som e, a partir desta idade, não houve modificação significativa da velocidade.

## TRATAMENTOS EFETUADOS COM O CIMENTO CP II-E-32

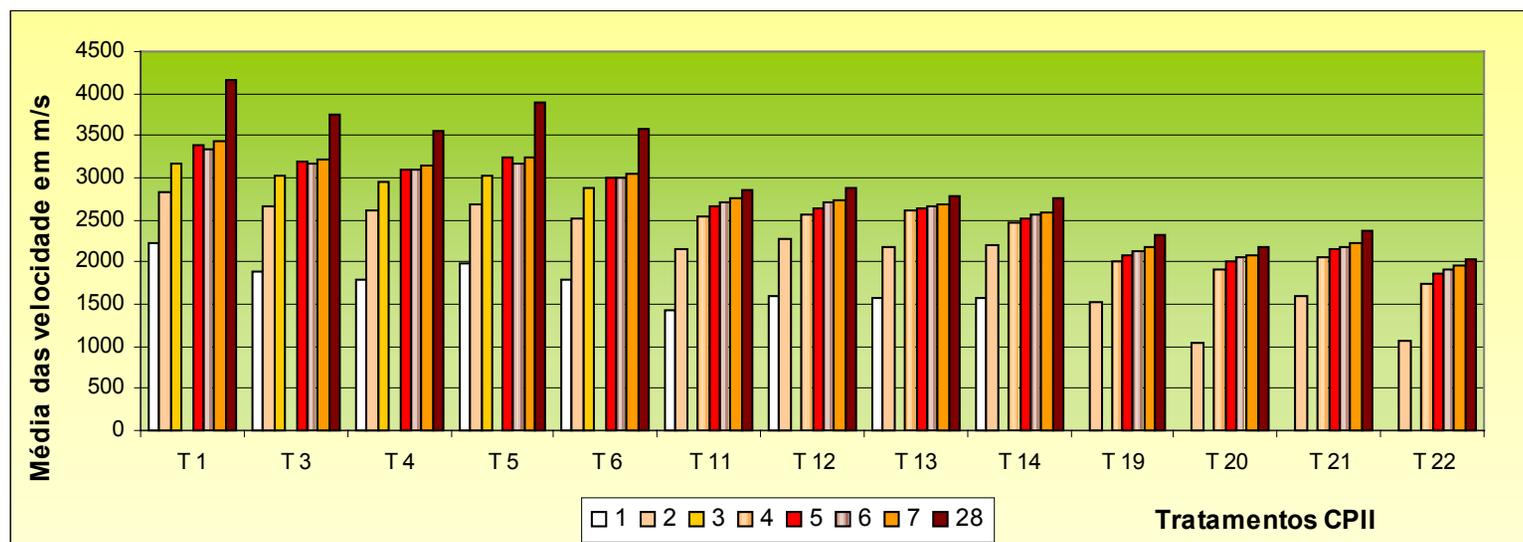
**Tabela 9.** Média das velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas para os tratamentos com cimento CP II-E-32.

Dias	Médias das Velocidades em m/s												
	Testemunha	8 % de fibras				16 % de fibras				24 % de fibras			
	T 1	T 3	T 4	T 5	T 6	T 11	T 12	T 13	T 14	T 19	T 20	T 21	T 22
<b>1</b>	2225	1879	1801	1990	1788	1420	1605	1571	1565				
<b>2</b>	2829	2655	2618	2695	2525	2160	2275	2175	2193	1514	1043	1591	1054
<b>3</b>	3181	3036	2957	3025	2881								
<b>4</b>						2546	2567	2611	2473	2018	1907	2059	1747
<b>5</b>	3381	3202	3106	3239	2993	2661	2641	2637	2524	2091	2018	2148	1872
<b>6</b>	3339	3176	3104	3178	3012	2704	2700	2655	2555	2128	2054	2180	1901
<b>7</b>	3424	3206	3146	3246	3045	2753	2738	2694	2597	2178	2087	2227	1952
<b>28</b>	4165	3746	3557	3906	3583	2848	2891	2786	2752	2328	2182	2365	2039

### Legenda

<b>T 1</b>	CPII + areia + água	<b>T 11</b>	CPII + 16% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 19</b>	CPII + 24% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 3</b>	CPII + 8% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 12</b>	CPII + 16% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 20</b>	CPII + 24% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 4</b>	CPII + 8% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 13</b>	CPII + 16% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 21</b>	CPII + 24% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 5</b>	CPII + 8% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 14</b>	CPII + 16% fibras água quente	<b>T 22</b>	CPII + 24% fibras água quente
<b>T 6</b>	CPII + 8% fibras água quente				

Os espaços em branco significam que os valores de medidas de tempo de propagação de onda ultra-sônica foram perturbados, devido a possível falha do cabo do transdutor. Esses valores não foram considerados na tabela das médias.



**Figura 18.** Média das velocidades de propagação de ondas utilizando ultra-som para os tratamentos com cimento CP II-E-32.

### Legenda

<b>T 1</b>	CPII + areia + água	<b>T 11</b>	CPII + 16% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 19</b>	CPII + 24% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 3</b>	CPII + 8% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 12</b>	CPII + 16% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 20</b>	CPII + 24% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 4</b>	CPII + 8% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 13</b>	CPII + 16% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 21</b>	CPII + 24% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 5</b>	CPII + 8% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 14</b>	CPII + 16% fibras água quente	<b>T 22</b>	CPII + 24% fibras água quente
<b>T 6</b>	CPII + 8% fibras água quente				

A análise das médias das velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas para o cimento CP II-E-32, pelo teste de Tukey aos 28 dias de idade, está apresentada na Tabela 10.

**Tabela 10.** Análise estatística do ensaio de ultra-som para o compósito à base do cimento CP II-E-32.

Ultra-som – Teste de Tukey por tratamento – CP II-E-32			
T 1 = T 5	<b>a</b>	T 11 = T 12	<b>d</b>
T 3 = T 13 = T 6	<b>b</b>	T 12 = T 14 = T 20	<b>e</b>
T 6 = T 11	<b>c</b>	T 20 = T 22 = T 19 = T 4 = T 21	<b>f</b>

**Legenda**

<b>T 1</b>	CPII + areia + água	<b>T 11</b>	CPII + 16% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 5</b>	CPII + 8% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 12</b>	CPII + 16% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 3</b>	CPII + 8% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 12</b>	CPII + 16% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 13</b>	CPII + 16% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 14</b>	CPII + 16% fibras água quente
<b>T 6</b>	CPII + 8% fibras água quente	<b>T 20</b>	CPII + 24% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 6</b>	CPII + 8% fibras água quente	<b>T 20</b>	CPII + 24% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 11</b>	CPII + 16% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 22</b>	CPII + 24% fibras água quente
		<b>T 19</b>	CPII + 24% fibras 6 h soda cáustica
		<b>T 4</b>	CPII + 8% fibras 12 h soda cáustica
		<b>T 21</b>	CPII + 24% fibras 24 h soda cáustica
<b>a</b>	1° nível de significância	<b>d</b>	4° nível de significância
<b>b</b>	2° nível de significância	<b>e</b>	5° nível de significância
<b>c</b>	3° nível de significância	<b>f</b>	6° nível de significância

Alguns tratamentos foram estatisticamente iguais entre si, ao nível de 5% probabilidade.

As velocidades mais elevadas ocorreram nas idades mais avançadas, porque em parte o compósito perde água, mas principalmente pelo avanço do endurecimento da mistura. De uma forma geral pode-se concluir que  $V_3 < V_7 < V_{28}$ , onde  $V_i$  = idade do corpo-de-prova (para  $i = 3; 7$  e 28 dias).

---

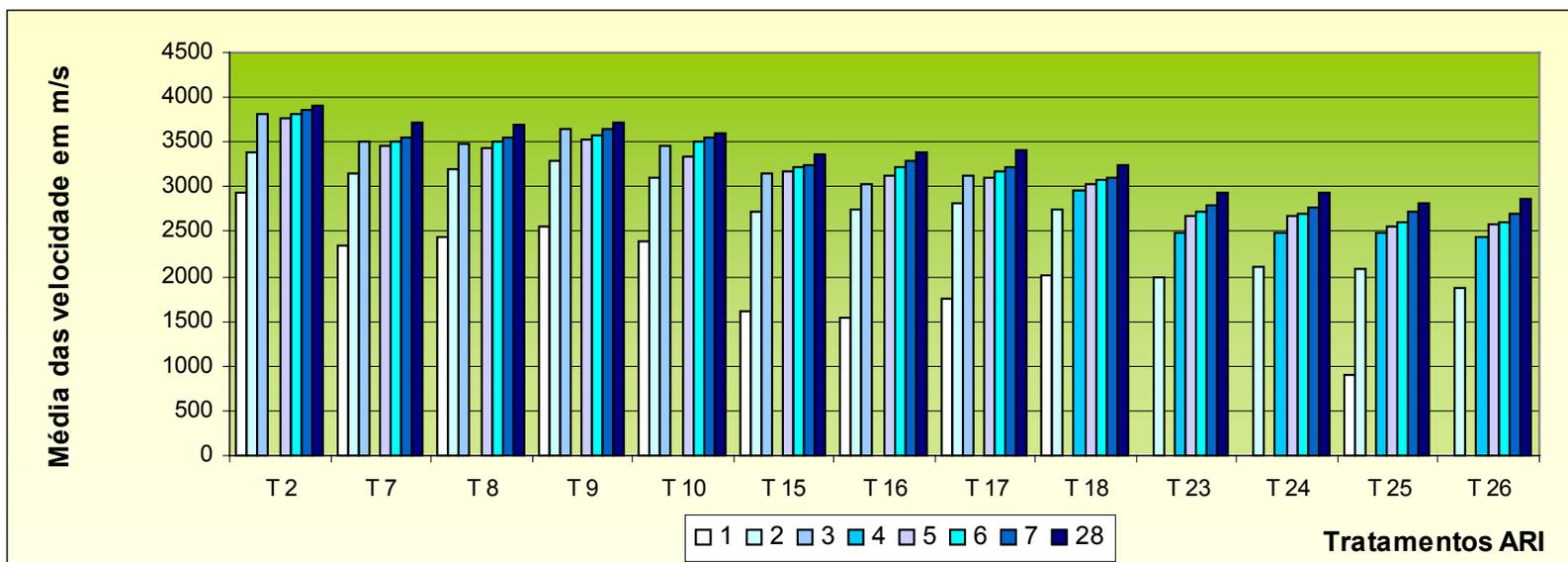
**TRATAMENTOS EFETUADOS COM O CIMENTO CP V-ARI**
**Tabela 11.** Média das velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas para os tratamentos com cimento CP V-ARI.

Dias	Médias das Velocidades em m/s												
	Testemunha	8 % de fibras				16 % de fibras				24 % de fibras			
	T 2	T 7	T 8	T 9	T 10	T 15	T 16	T 17	T 18	T 23	T 24	T 25	T 26
1	2943	2347	2449	2552	2399	1608	1546	1745	2005			897	
2	3389	3161	3187	3295	3100	2729	2737	2823	2739	1995	2117	2079	1863
3	3808	3495	3485	3640	3456	3140	3025	3126					
4									2954	2491	2497	2479	2433
5	3772	3469	3432	3522	3334	3168	3127	3098	3030	2678	2667	2567	2573
6	3812	3499	3497	3584	3497	3232	3215	3172	3083	2720	2702	2608	2602
7	3855	3564	3561	3636	3559	3253	3283	3224	3111	2795	2763	2715	2691
28	3897	3714	3706	3721	3597	3363	3392	3404	3241	2933	2927	2813	2857

**Legenda**

<b>T 2</b>	ARI + areia + água	<b>T 15</b>	ARI + 16% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 23</b>	ARI + 24% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 7</b>	ARI + 8% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 16</b>	ARI + 16% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 24</b>	ARI + 24% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 8</b>	ARI + 8% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 17</b>	ARI + 16% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 25</b>	ARI + 24% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 9</b>	ARI + 8% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 18</b>	ARI + 16% fibras água quente	<b>T 26</b>	ARI + 24% fibras água quente
<b>T 10</b>	ARI + 8% fibras água quente				

Os espaços em branco significam que os valores de medidas de tempo de propagação de onda ultra-sônica foram perturbados, devido a possível falha do cabo do transdutor. Esses valores não foram considerados na tabela das médias.



**Figura 19.** Média das velocidades de propagação de ondas utilizando ultra-som para os tratamentos com cimento CP V-ARI.

#### Legenda

<b>T 2</b>	ARI + areia + água	<b>T 15</b>	ARI + 16% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 23</b>	ARI + 24% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 7</b>	ARI + 8% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 16</b>	ARI + 16% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 24</b>	ARI + 24% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 8</b>	ARI + 8% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 17</b>	ARI + 16% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 25</b>	ARI + 24% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 9</b>	ARI + 8% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 18</b>	ARI + 16% fibras água quente	<b>T 26</b>	ARI + 24% fibras água quente
<b>T 10</b>	ARI + 8% fibras água quente				

O teste de Tukey aplicado às médias de tratamentos da velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas mostrou que o tratamento com cimento CP V -ARI T 2 forneceu os valores mais elevados de velocidade, sendo designado como grupo **a**.

**Tabela 12.** Análise estatística do ensaio de ultra-som para o compósito à base do cimento CP V-ARI.

Ultra-som – Teste de Tukey por tratamento – CP V - ARI			
T 2	<b>a</b>	T 23 = T 24	<b>d</b>
T 9 = T 7 = T 8 = T 18 = T 10	<b>b</b>	T 24 = T 25 = T 26	<b>e</b>
T 15 = T 17 = T 16	<b>c</b>		

**Legenda**

<b>T 2</b>	ARI + areia + água	<b>T 15</b>	ARI + 16% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 9</b>	ARI + 8% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 17</b>	ARI + 16% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 7</b>	ARI + 8% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 16</b>	ARI + 16% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 8</b>	ARI + 8% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 23</b>	ARI + 24% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 18</b>	ARI + 16% fibras água quente	<b>T 24</b>	ARI + 24% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 10</b>	ARI + 8% fibras água quente	<b>T 24</b>	ARI + 24% fibras 12 h soda cáustica
		<b>T 25</b>	ARI + 24% fibras 24 h soda cáustica
		<b>T 26</b>	ARI + 24% fibras água quente
<b>a</b>	1º nível de significância	<b>d</b>	4º nível de significância
<b>b</b>	2º nível de significância	<b>e</b>	5º nível de significância
<b>c</b>	3º nível de significância	<b>f</b>	6º nível de significância

**Tabela 13.** Análise estatística do ensaio não destrutivo – Ultra-som dos melhores tratamentos com os cimentos CP II-E-32 e CP V-ARI.

Tratamentos CP II-E-32		Tratamentos CP V-ARI	
T 1 = T 5	<b>a</b>	T 2	<b>a</b>

**Legenda**

<b>CP II</b>		<b>ARI</b>	
<b>T 1</b>	CP II + areia + água	<b>T 2</b>	ARI + areia + água
<b>T 5</b>	CP II + 16% fibras 24 h soda cáustica		
<b>a</b>	1º nível de significância		

Os compósitos relativos aos tratamentos do nível 2, provavelmente, serão aqueles que fornecerão os melhores resultados, quando for efetuado o ensaio de compressão simples, cujos resultados estão apresentados na Tabela 14.

**Tabela 14.** Análise estatística do ensaio de ultra-som do nível 2 com os cimentos CP II-E-32 e CP V-ARI.

CP II-E-32		CP V-ARI	
T 3 = T 13 = T 6	<b>b</b>	T 9 = T 7 = T 8 = T 18 = T 10	<b>b</b>

**Legenda**

**CPII**

**T 3** CPII + 8% fibras 6h soda cáustica  
**T 13** CPII + 16% fibras 24h soda cáustica  
**T 6** CPII + 8% fibras água quente

**ARI**

**T 9** ARI + 8% fibras 24h soda cáustica  
**T 7** ARI + 8% fibras 6h soda cáustica  
**T 8** ARI + 8% fibras 12h soda cáustica  
**T 18** ARI + 16% fibras água quente  
**T 10** ARI + 8% fibras água quente

**b** 2º nível de significância

• **ABSORÇÃO DE ÁGUA**

Os resultados de todos os tratamentos estão descritos separadamente por tipo de cimento (CP II-E-32 e CP V-ARI), de acordo com as Tabelas 15 e 19 e Figuras 20 e 21, respectivamente.

**Tabela 15.** Absorção de água (%) dos corpos-de-prova com cimento CP II-E-32.

	Tratamentos	Horas							
		2 h	6 h	12 h	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
test	<b>T 1</b>	4,35	5,54	5,83	5,86	5,99	6,10	6,11	6,13
8%	<b>T 3</b>	5,80	6,71	6,77	6,92	6,97	7,11	7,11	7,17
	<b>T 4</b>	6,30	6,95	7,05	7,19	7,25	7,33	7,30	7,32
	<b>T 5</b>	6,01	6,61	6,74	6,87	6,88	6,96	6,96	7,01
	<b>T 6</b>	4,73	5,78	6,19	6,33	6,43	6,49	6,46	6,53
16%	<b>T 11</b>	6,66	7,77	8,03	8,24	8,35	8,65	8,56	8,67
	<b>T 12</b>	8,09	8,76	8,85	9,03	9,10	9,18	9,15	9,16
	<b>T 13</b>	8,22	8,70	8,82	8,91	9,01	9,08	9,05	9,11
	<b>T 14</b>	7,08	8,30	8,48	8,69	8,78	8,94	8,88	8,97
24%	<b>T 19</b>	10,83	11,06	11,11	11,42	11,58	11,75	11,71	11,87
	<b>T 20</b>	10,57	10,83	10,96	11,03	11,22	11,41	11,39	11,31
	<b>T 21</b>	10,69	10,87	10,97	11,10	11,36	11,44	11,45	11,44
	<b>T 22</b>	10,20	10,59	10,83	10,98	11,23	11,42	11,41	11,52

**Legenda**

**T 1** CPII + areia + água  
**T 3** CPII + 8% fibras 6 h soda cáustica  
**T 4** CPII + 8% fibras 12 h soda cáustica  
**T 5** CPII + 8% fibras 24 h soda cáustica  
**T 6** CPII + 8% fibras água quente  
**T 11** CPII + 16% fibras 6 h soda cáustica  
**T 12** CPII + 16% fibras 12 h soda cáustica  
**T 13** CPII + 16% fibras 24 h soda cáustica  
**T 14** CPII + 16% fibras água quente  
**T 19** CPII + 24% fibras 6 h soda cáustica  
**T 20** CPII + 24% fibras 12 h soda cáustica  
**T 21** CPII + 24% fibras 24 h soda cáustica  
**T 22** CPII + 24% fibras água quente

Como pode se observar, a partir dos resultados do ensaio de absorção de água para compósitos de CP II-E-32, não houve diferença significativa na interação entre os tratamentos e o intervalo de tempo. Porém, existiram diferenças entre os tratamentos e também entre os intervalos. Quanto maior foi a quantidade de partículas mais elevado foi o valor da absorção de água. O teste de Tukey, aplicado às médias de tratamentos, indicou que o pior tratamento para o ensaio de absorção de água foi o T 19, e que o tratamento no qual houve menor absorção de água foi o T 1, seguido pelo T 6. Os resultados estão apresentados na Tabela 16.

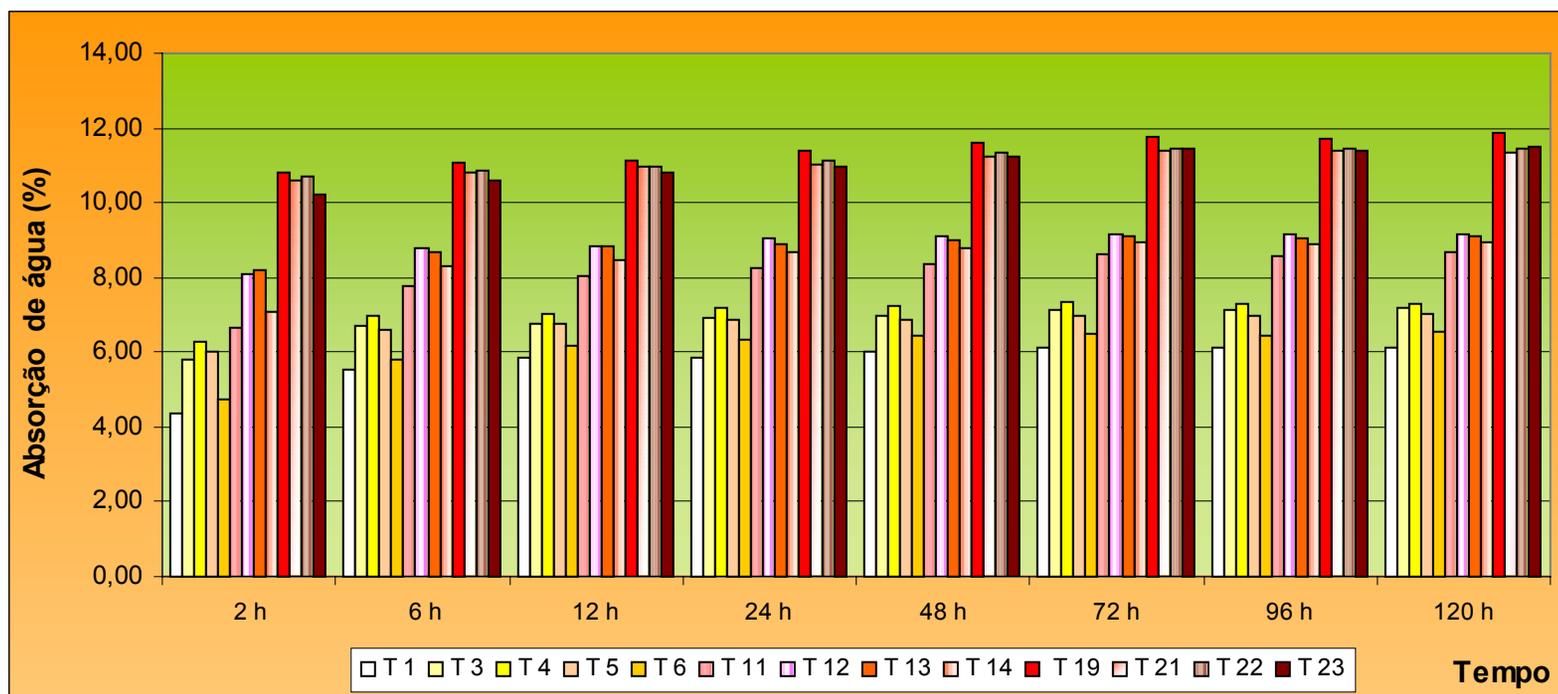
**Tabela 16.** Análise estatística do ensaio de absorção de água para o compósito à base do cimento CP II-E-32.

Absorção de água - Teste de Tukey por tratamento - Cimento CP II-E-32					
T 1	<b>a</b>	T 4	<b>d</b>	T 12 = T 13	<b>g</b>
T 6	<b>b</b>	T 11	<b>e</b>	T 21 = T 22 = T 23	<b>h</b>
T 3 = T5	<b>c</b>	T 14	<b>f</b>	T 19	<b>i</b>

**Legenda**

<b>T 1</b>	CPII + areia + água	<b>T 13</b>	CPII + 16% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 3</b>	CPII + 8% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 14</b>	CPII + 16% fibras água quente
<b>T 4</b>	CPII + 8% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 19</b>	CPII + 24% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 5</b>	CPII + 8% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 20</b>	CPII + 24% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 6</b>	CPII + 8% fibras água quente	<b>T 21</b>	CPII + 24% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 11</b>	CPII + 16% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 22</b>	CPII + 24% fibras água quente
<b>T 12</b>	CPII + 16% fibras 12 h soda cáustica		
<b>a</b>	1º nível de significância	<b>f</b>	6º nível de significância
<b>b</b>	2º nível de significância	<b>g</b>	7º nível de significância
<b>c</b>	3º nível de significância	<b>h</b>	8º nível de significância
<b>d</b>	4º nível de significância	<b>i</b>	9º nível de significância
<b>e</b>	5º nível de significância		

Os tratamentos nos quais se utilizou a maior porcentagem de fibras tratadas com soda cáustica forneceram resultados bem inferiores aos demais, ou seja, para eles a absorção de água foi mais elevada. A absorção de água pelo compósito foi extremamente rápida variando de 4,73% (T 6) a 10,83% (T 19), para as primeiras 2 h, mostrando, assim, a natureza higroscópica do material. A partir de 48 h não houve diferença estatística entre os valores de absorção. Desse modo, em estudos similares, esse intervalo de tempo pode ser adotado, como sendo o mínimo para que se possa avaliar a absorção do compósito. Na Figura 20 estão apresentadas as médias dos tratamentos do cimento CP II-E-32, seguido pela Tabela 17, na qual estão apresentados os resultados dos tratamentos de absorção de água do cimento CP V-ARI.



**Figura 20.** Média da absorção de água (%), para tratamentos com o cimento CP II-E-32.

#### Legenda

<b>T 1</b>	CPII + areia + água	<b>T 11</b>	CPII + 16% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 19</b>	CPII + 24% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 3</b>	CPII + 8% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 12</b>	CPII + 16% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 20</b>	CPII + 24% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 4</b>	CPII + 8% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 13</b>	CPII + 16% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 21</b>	CPII + 24% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 5</b>	CPII + 8% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 14</b>	CPII + 16% fibras água quente	<b>T 22</b>	CPII + 24% fibras água quente
<b>T 6</b>	CPII + 8% fibras água quente				

**Tabela 17.** Absorção de água (%) dos corpos-de-prova com cimento CP V-ARI.

test	Tratamentos	Horas							
		2 h	6 h	12 h	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
8%	T 2	2,98	3,77	4,23	4,46	4,56	4,66	4,64	4,66
	T 7	3,69	4,53	5,01	5,18	5,26	5,33	5,36	5,37
	T 8	3,81	4,58	5,03	5,24	5,33	5,45	5,41	5,47
	T 9	3,37	4,18	4,68	5,01	5,09	5,18	5,19	5,21
16%	T 10	2,96	3,71	4,25	4,73	4,96	5,10	5,08	5,12
	T 15	7,47	7,86	7,98	8,05	8,10	8,23	8,27	8,26
	T 16	7,31	7,82	7,89	8,06	8,14	8,32	8,29	8,36
	T 17	6,78	7,61	7,66	7,82	7,93	8,04	8,05	8,11
24%	T 18	6,08	7,13	7,24	7,39	7,56	7,68	7,68	7,70
	T 23	9,72	9,90	9,96	10,00	10,35	10,67	10,72	10,64
	T 24	9,94	10,32	10,22	10,37	10,77	10,99	11,19	11,20
	T 25	10,12	10,42	10,55	10,58	10,89	11,10	11,24	11,26
	T 26	9,16	9,56	9,65	9,73	10,17	10,27	10,25	10,29

## Legenda

T 2	ARI + areia + água	T 17	ARI + 16% fibras 24 h soda cáustica
T 7	ARI + 8% fibras 6 h soda cáustica	T 18	ARI + 16% fibras água quente
T 8	ARI + 8% fibras 12 h soda cáustica	T 23	ARI + 24% fibras 6 h soda cáustica
T 9	ARI + 8% fibras 24 h soda cáustica	T 24	ARI + 24% fibras 12 h soda cáustica
T 10	ARI + 8% fibras água quente	T 25	ARI + 24% fibras 24 h soda cáustica
T 15	ARI + 16% fibras 6 h soda cáustica	T 26	ARI + 24% fibras água quente
T 16	ARI + 16% fibras 12 h soda cáustica		

Para os resultados do ensaio de absorção de água com o cimento CP V-ARI, não houve diferença significativa na interação entre os tratamentos e o intervalo de tempo. Porém, existiu diferença entre os tratamentos e também entre os períodos. Quanto maior foi a quantidade de fibras de bambu mais elevado foi o valor da absorção de água. Na tabela 18 apresentam-se as análises estatísticas do ensaio de absorção de água.

**Tabela 18.** Análise estatística do ensaio de absorção de água para o compósito à base do cimento CP V-ARI.

Absorção de água - Teste de Tukey por tratamento - CP V-ARI					
T 2	a	T 18	e	T 23	i
T 10	b	T 17	f	T 24	j
T 9	c	T 15 e T 16	g	T 25	k
T 7 e T 8	d	T 26	h		

O teste de Tukey, aplicado às médias de tratamentos, indicou que o tratamento que menos absorveu água foi o T 2 e o pior tratamento de absorção de água foi o T 25. A absorção de água pelo compósito foi extremamente rápida variando de 2,96% (T 10) a 10,12% (T 25)

para as primeiras 2 h, semelhante ao comportamento observado para compósitos à base de cimento CP II-E-32. A partir de 48 h não houve diferença estatística entre os demais tratamentos. Desse modo, em estudos similares esse intervalo de tempo pode ser adotado, como sendo o mínimo para que se possa avaliar a absorção do compósito. Na tabela 19 apresentam-se os resultados estatísticos de absorção de água com cimento CP V - ARI.

**Tabela 19.** Análise estatística do ensaio de absorção de água dos melhores tratamentos com cimento CP II- E -32 e CP V - ARI.

Tratamentos CP II-E-32		Tratamentos CP V-ARI	
T 6 = T 3 = T 5 = T 1	a	T 2 = T 9 = T 10 = T 8 = T 7	a

#### Legenda

##### CPII

<b>T 6</b>	CPII + 8% fibras água quente
<b>T 3</b>	CPII + 8% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 5</b>	CPII + 8% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 1</b>	CPII + areia + água
<b>a</b>	1º nível de significância

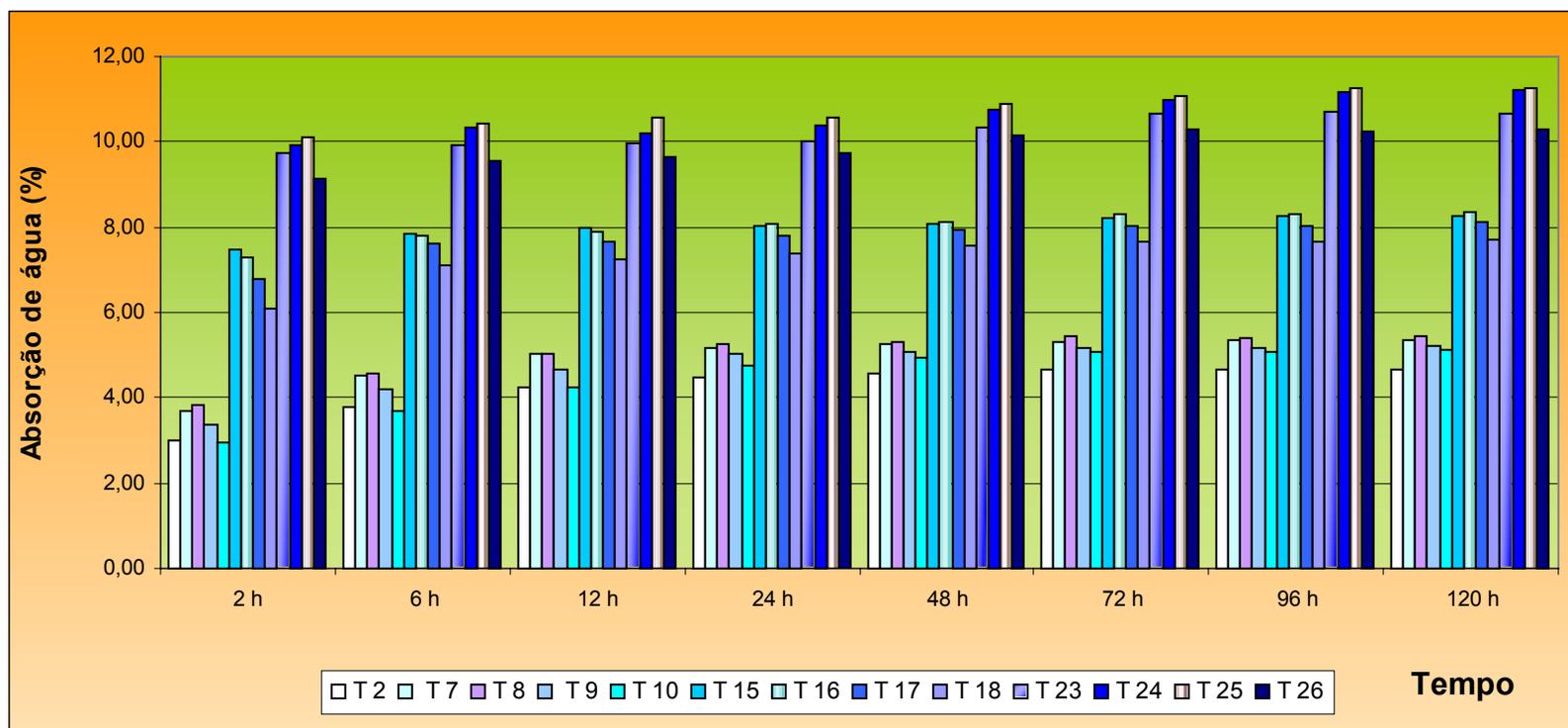
##### ARI

<b>T 2</b>	ARI + areia + água
<b>T 9</b>	ARI + 8% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 10</b>	ARI + 8% fibras água quente
<b>T 8</b>	ARI + 8% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 7</b>	ARI + 8% fibras 6 h soda cáustica

Baseados nas Tabelas 15 e 17, onde estão apresentados os resultados da absorção de água (%) dos corpos-de-prova com cimentos CP II-E-32 e CP V-ARI, respectivamente, pode-se concluir que o compósito à base de cimento ARI é mais eficiente devido à baixa absorção de água, provavelmente devido à sua menor finura e também devido à sua menor sensibilidade aos extrativos presentes nas fibras de bambu.

Após 48 h a absorção média de água nas testemunhas T 1 (cimento CP II-E-32) foi de 6%, e para a testemunha T 2 (cimento ARI) foi de 4,56%. Esse comportamento manteve-se entre todos os tratamentos efetuados com os dois tipos de cimentos nas demais durações.

Na Figura 21 estão apresentados os resultados da absorção média de água de todos os tratamentos com cimento CP V-ARI.



**Figura 21.** Média da absorção de água (%), para tratamentos com o cimento CPV-ARI.

#### Legenda

<b>T 2</b>	ARI + areia + água	<b>T 15</b>	ARI + 16% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 23</b>	ARI + 24% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 7</b>	ARI + 8% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 16</b>	ARI + 16% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 24</b>	ARI + 24% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 8</b>	ARI + 8% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 17</b>	ARI + 16% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 25</b>	ARI + 24% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 9</b>	ARI + 8% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 18</b>	ARI + 16% fibras água quente	<b>T 26</b>	ARI + 24% fibras água quente
<b>T 10</b>	ARI + 8% fibras água quente				

• **ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES**

Os resultados obtidos foram separados pelos dois tipos de cimentos e também pelas porcentagens das fibras, sendo apresentados nas Tabelas 20 a 22, para o cimento CP II-E-32, e nas Tabelas 23 a 25, para o cimento CP V-ARI, respectivamente. De acordo com a Norma NBR 7215/97 deve-se determinar o desvio padrão em todos os tratamentos.

**Tabela 20.** Resistência à compressão simples aos 3, 7 e 28 dias, de corpos-de-prova com diferentes combinações de cimento CP II-E-32 e com 8% fibras de bambu.

Parâmetros		CP II	Resistência à compressão simples (MPa)				
			T 1	T 3	T 4	T 5	T 6
Resistência à compressão simples aos 3 dias	A			7,08	7,04	10,84	10,19
	B			7,31	8,67	8,99	10,94
	C			7,53	7,70	8,56	11,16
	Média			7,31	7,80	9,46	10,76
	Desvio Padrão			0,18	0,67	0,99	0,42
	Coefficiente de variação (%)			2,51	8,58	10,45	3,86
Resistência à compressão simples aos 7 dias	A		16,30	8,35	7,15	12,78	13,45
	B		18,74	11,15	8,34	11,92	15,28
	C		10,19	11,21	8,34	13,22	14,34
	Média		15,08	10,24	7,94	12,64	14,36
	Desvio Padrão		3,60	1,33	0,56	0,54	0,75
	Coefficiente de variação (%)		23,85	13,03	7,06	4,27	5,20
Resistência à compressão simples aos 28 dias	A		24,45	14,95	18,33	19,96	15,92
	B		22,61	16,45	17,83	16,76	17,62
	C		27,09	16,45	17,86	18,86	17,19
	Média		24,72	15,95	18,01	18,53	16,91
	Desvio Padrão		1,84	0,71	0,23	1,33	0,72
	Coefficiente de variação (%)		7,44	4,43	1,27	7,17	4,27

**Legenda**

T 1 CII + areia + água

T 3 CII + 8% fibras 6 h em soda cáustica

T 4 CII + 8% fibras 12 h em soda cáustica

T 5 CII + 8% fibras 24 h em soda cáustica

T 6 CII + 8% fibras lavadas em água quente

O ensaio de resistência à compressão simples dos corpos-de-prova do tratamento T 1 (CPII + areia + água), ao terceiro dia, não foi realizado, pois o material ficou danificado durante a desmoldagem.

**Tabela 21.** Resistência à compressão simples aos 3, 7 e 28 dias, de corpos-de-prova com diferentes combinações de cimento CP II-E-32 e com 16% fibras de bambu.

Parâmetros	CP II	Resistência à compressão simples (MPa)				
		T 1	T 11	T 12	T 13	T 14
Resistência à compressão simples aos 3 dias	A		5,09	6,29	6,87	6,87
	B		5,63	6,06	6,98	5,31
	C		5,04	5,86	6,53	7,31
	Média		5,25	6,07	6,79	6,50
	Desvio Padrão		0,33	0,22	0,23	1,05
	Coefficiente de variação (%)		6,29	3,62	3,39	16,15
Resistência à compressão simples aos 7 dias	A	16,30	7,89	9,86	8,25	9,86
	B	18,74	8,00	8,89	8,56	10,51
	C	10,19	7,49	9,97	6,72	8,78
	Média	15,08	7,79	9,57	7,84	9,72
	Desvio Padrão	4,40	0,27	0,59	0,99	0,87
	Coefficiente de variação (%)	29,21	3,47	6,17	12,63	8,95
Resistência à compressão simples aos 28 dias	A	24,45	9,42	10,85	12,14	9,22
	B	22,61	8,79	10,29	9,75	11,82
	C	27,09	10,08	9,75	11,92	10,70
	Média	24,74	9,43	10,30	11,27	10,58
	Desvio Padrão	2,25	0,65	0,55	1,32	1,30
	Coefficiente de variação (%)	9,10	6,89	5,34	11,71	12,29

#### Legenda

T 1	CPII + areia + água	T 13	CPII + 16% fibras 24 h em soda cáustica
T 11	CPII + 16% fibras 6 h em soda cáustica	T 14	CPII + 16% fibras lavadas em água quente
T 12	CPII + 16% fibras 12 h em soda cáustica		

**Tabela 22.** Resistência à compressão simples aos 3, 7 e 28 dias, de corpos-de-prova com diferentes combinações de cimento CP II-E-32 e com 24% fibras de bambu.

Parâmetros	CP II	Resistência à compressão simples (MPa)				
		T 1	T 19	T 20	T 21	T 22
Resistência à compressão simples aos 3 dias	A		3,21	4,32	3,57	2,66
	B		2,88	4,43	3,87	2,60
	C		3,32	3,87	3,97	2,55
	Média		3,14	4,21	3,80	2,60
	Desvio Padrão		0,23	0,30	0,21	0,06
	Coeficiente de variação (%)		7,29	7,05	5,48	2,12
Resistência à compressão simples aos 7 dias	A	16,30	5,30	5,42	4,98	4,43
	B	18,74	5,35	5,19	4,43	5,09
	C	10,19	5,30	5,63	4,65	3,87
	Média	15,08	5,31	5,42	4,69	4,46
	Desvio Padrão	4,40	0,03	0,22	0,28	0,61
	Coeficiente de variação (%)	29,21	0,54	4,06	5,90	13,69
Resistência à compressão simples aos 28 dias	A	24,45	6,26	5,43	6,75	6,64
	B	22,61	6,72	6,76	5,54	5,65
	C	27,09	5,65	7,64	6,09	6,53
	Média	24,74	6,21	6,61	6,13	6,27
	Desvio Padrão	2,25	0,54	1,11	0,61	0,54
	Coeficiente de variação (%)	9,10	8,64	16,83	9,88	8,65

#### Legenda

<b>T 1</b>	CPII + areia + água	<b>T 21</b>	CPII + 24% fibras 24 h em soda cáustica
<b>T 19</b>	CPII + 24% fibras 6 h em soda cáustica	<b>T 22</b>	CPII + 24% fibras lavadas em água quente
<b>T 20</b>	CPII + 24% fibras 12 h em soda cáustica		

Para a avaliação final dos corpos-de-prova com diferentes porcentagens de fibras do cimento CP II-E-32, os parâmetros utilizados foram aqueles referentes às condições exigíveis, de acordo estabelecido com a norma NBR 7215 - Resistência à compressão simples.

A análise das médias da resistência à compressão simples, com o auxílio do teste de Tukey, apresentou os seguintes resultados: a resistência à compressão foi sempre maior aos 28

dias do que aos 7 dias e aos 3 dias. Os melhores tratamentos, independentemente das idades, estão apresentados na Tabela 23.

**Tabela 23.** Análise estatística do ensaio de compressão simples do cimento CP II-E-32.

<b>Compressão simples - Teste de Tukey - Cimento CP II-E-32</b>			
T 6 = T 3 = T 5 = T 1	<b>a</b>	T 14 = T 11 = T 12 = T 13	<b>c</b>
T 4	<b>b</b>	T 19 = T 22 = T 20 = T 21	<b>d</b>

**Legenda**

**T 6** CII + 8% fibras água quente

**T 3** CII + 8% fibras 6 h soda cáustica

**T 5** CII + 8% fibras 24 h soda cáustica

**T 1** CII + areia + água

**T 4** CII + 8% fibras 12 h soda cáustica

**T 14** CII + 16% fibras água quente

**T 11** CII + 16% fibras 6 h soda cáustica

**T 12** CII + 16% fibras 12 h soda cáustica

**T 13** CII + 16% fibras 24 h soda cáustica

**T 19** CII + 24% fibras 6 h soda cáustica

**T 22** CII + 24% fibras água quente

**T 20** CII + 24% fibras 12 h soda cáustica

**T 21** CII + 24% fibras 24 h soda cáustica

**A** 1º nível de significância

**B** 2º nível de significância

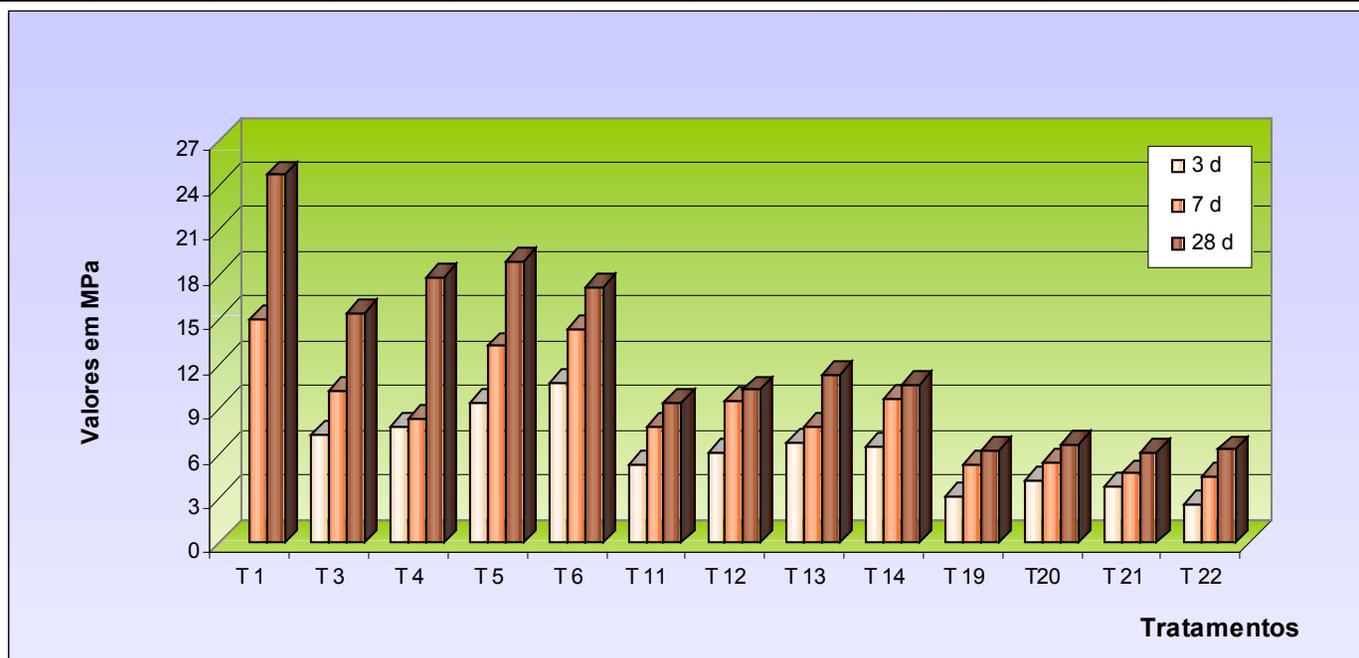
**c** 3º nível de significância

**d** 4º nível de significância

Os resultados das médias do ensaio de compressão simples aos 3, 7 e 28 dias, dos corpos-de-prova submetidos aos tratamentos, estão apresentados na Tabela 24 e Figura 25, para o cimento CP II-E-32 e na Tabela 28 e Figura 22, para o cimento CP V-ARI, respectivamente.

**Tabela 24.** RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DOS TRATAMENTOS COM O CIMENTO CP II-E-32.

Dias	Média da resistência à compressão cimento CP II-E-32												
	T 1	T 3	T 4	T 5	T 6	T 11	T 12	T 13	T 14	T 19	T 20	T 21	T 22
3 d		7,31	7,80	9,46	10,77	5,25	6,07	6,79	6,50	3,13	4,21	3,80	2,60
7 d	15,08	10,24	8,34	13,22	14,34	7,79	9,57	7,84	9,72	5,31	5,41	4,69	4,46
28 d	24,72	15,45	17,86	18,86	17,19	9,43	10,30	11,27	10,58	6,21	6,61	6,13	6,27

**Figura 22.** Média da resistência à compressão simples dos tratamentos com cimento CP II-E-32.**Legenda****T 1** CII + areia + água**T 3** CII + 8% fibras 6 h soda cáustica**T 4** CII + 8% fibras 12 h soda cáustica**T 5** CII + 8% fibras 24 h soda cáustica**T 6** CII + 8% fibras água quente**T 11** CII + 16% fibras 6 h soda cáustica**T 12** CII + 16% fibras 12 h soda cáustica**T 13** CII + 16% fibras 24 h soda cáustica**T 14** CII + 16% fibras água quente**T 19** CII + 24% fibras 6 h soda cáustica**T 20** CII + 24% fibras 12 h soda cáustica**T 21** CII + 24% fibras 24 h soda cáustica**T 22** CII + 24% fibras água quente

Nas Tabelas 25 a 27 e a Figura 23 estão apresentados os resultados dos ensaios de compressão simples para o cimento CP V-ARI.

**Tabela 25.** Resistência à compressão simples aos 3, 7 e 28 dias, de corpos-de-prova com diferentes combinações de cimento CP V-ARI e com 8% fibras de bambu.

Parâmetros	ARI	Resistência à compressão simples (MPa)				
		T 2	T 7	T 8	T 9	T 10
Resistência à compressão simples aos 3 dias	A		13,65	12,14	17,42	16,45
	B		13,87	10,84	16,45	15,18
	C		11,92	10,73	15,92	17,19
	Média		13,15	11,23	16,59	16,27
	Desvio Padrão		1,07	0,78	0,76	1,02
	Coeficiente de variação (%)		8,12	6,98	4,59	6,25
Resistência à compressão simples aos 7 dias	A	19,35	19,30	15,58	18,15	12,90
	B	30,76	16,55	17,52	13,55	15,17
	C	22,41	16,14	19,81	19,31	21,75
	Média	24,71	17,33	17,64	17,00	16,61
	Desvio Padrão	5,91	1,72	2,12	3,05	4,60
	Coeficiente de variação (%)	23,90	9,92	12,00	17,92	27,67
Resistência à compressão simples aos 28 dias	A	41,76	20,78	23,66	22,71	18,33
	B	32,19	19,63	24,40	20,58	24,45
	C	26,48	21,75	20,37	15,28	14,26
	Média	33,48	20,72	22,81	19,52	19,01
	Desvio Padrão	7,72	1,06	2,15	3,83	5,13
	Coeficiente de variação (%)	23,06	5,12	9,40	19,60	26,98

#### Legenda

<b>T 2</b>	ARI + areia + água	<b>T 9</b>	ARI + 8% fibras 24 h em soda cáustica
<b>T 7</b>	ARI + 8% fibras 6 h em soda cáustica	<b>T 10</b>	ARI + 8% fibras lavadas em água quente
<b>T 8</b>	ARI + 8% fibras 12 h em soda cáustica		

O ensaio de resistência à compressão simples dos corpos-de-prova do tratamento T 2 (ARI + areia + água), ao terceiro dia, não foi realizado devido à fragilidade do material durante a desmoldagem.

**Tabela 26.** Resistência à compressão simples aos 3, 7 e 28 dias, de corpos-de-prova com diferentes combinações de cimento CP V-ARI e com 16% fibras de bambu.

Parâmetros	ARI	Resistência à compressão simples (MPa)				
		T 2	T 15	T 16	T 17	T 18
Resistência à compressão simples aos 3 dias	A		8,24	6,64	7,91	7,70
	B		8,67	6,42	10,08	6,64
	C		8,99	7,70	6,86	8,34
	Média		8,63	6,92	8,28	7,56
	Desvio Padrão		0,38	0,68	1,64	0,86
	Coefficiente de variação (%)		4,36	9,89	19,83	11,36
Resistência à compressão simples aos 7 dias	A	19,35	10,29	9,32	9,75	9,86
	B	30,76	11,05	9,75	10,94	8,99
	C	22,41	12,45	9,65	11,05	11,92
	Média	24,71	11,26	9,57	10,58	10,26
	Desvio Padrão	5,91	1,10	0,23	0,72	1,50
	Coefficiente de variação (%)	23,90	9,73	2,35	6,81	14,67
Resistência à compressão simples aos 28 dias	A	41,76	12,22	11,71	12,35	13,11
	B	32,19	14,51	11,61	11,82	12,89
	C	26,48	11,15	11,62	12,68	11,71
	Média	33,48	12,63	11,75	12,28	12,57
	Desvio Padrão	7,72	1,72	0,06	0,43	0,75
	Coefficiente de variação (%)	23,06	13,59	0,47	3,53	5,99

#### Legenda

**T 2** ARI + areia + água

**T 15** ARI + 16% fibras 6 h em soda cáustica

**T 16** ARI + 16% fibras 12 h em soda cáustica

**T 17** ARI + 16% fibras 24 h em soda cáustica

**T 18** ARI + 16% fibras lavadas em água quente

**Tabela 27.** Resistência à compressão simples aos 3, 7 e 28 dias, de corpos-de-prova com diferentes combinações de cimento CP V-ARI e com 24% fibras de bambu.

Parâmetros	ARI	Resistência à compressão simples (MPa)				
		T 2	T 23	T 24	T 25	T 26
Resistência à compressão simples aos 3 dias	A		3,76	3,43	3,32	3,10
	B		3,76	3,54	4,21	3,21
	C		3,32	3,32	3,65	3,54
	Média		3,62	3,43	3,73	3,28
	Desvio Padrão		0,25	0,11	0,45	0,23
	Coeficiente de variação (%)		7,02	3,21	12,06	6,98
Resistência à compressão simples aos 7 dias	A	19,35	4,53	4,09	4,89	4,09
	B	30,76	3,99	4,65	4,43	4,81
	C	22,41	4,65	4,53	5,09	4,76
	Média	24,71	4,39	4,43	4,80	4,56
	Desvio Padrão	5,91	0,35	0,29	0,34	0,40
	Coeficiente de variação (%)	23,90	8,01	6,66	7,05	8,82
Resistência à compressão simples aos 28 dias	A	41,76	5,86	7,79	6,72	6,42
	B	32,19	5,53	6,06	6,93	7,42
	C	26,48	7,03	5,53	5,30	6,53
	Média	33,48	6,14	6,46	6,32	6,79
	Desvio Padrão	7,72	0,79	1,18	0,89	0,55
	Coeficiente de variação (%)	23,06	12,84	18,30	14,03	8,08

**Legenda**

**T 2** ARI + areia + água

**T 23** ARI + 24% fibras 6 h em soda cáustica

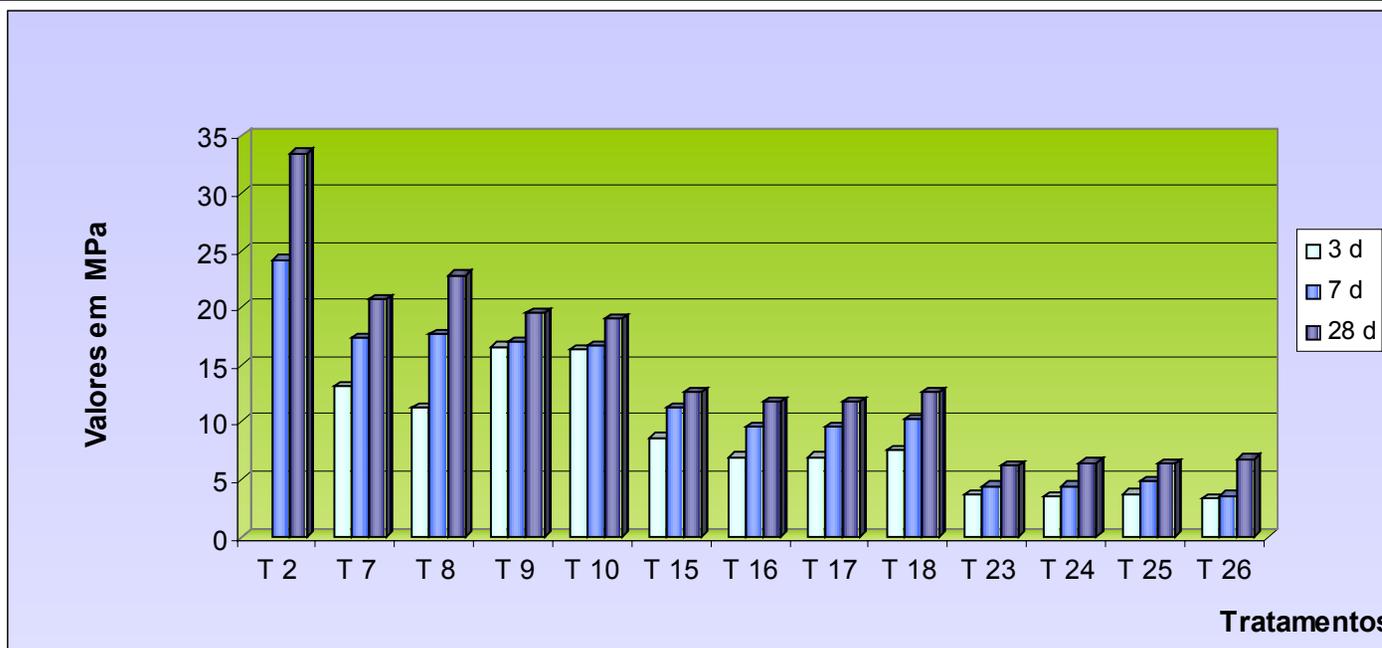
**T 24** ARI + 24% fibras 12 h em soda cáustica

**T 25** ARI + 24% fibras 24 h em soda cáustica

**T 26** ARI + 24% fibras lavadas em água quente

**Tabela 28.** RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DOS TRATAMENTOS COM O CIMENTO CP V-ARI.

Dias	Média da resistência à compressão												
	T 2	T 7	T 8	T 9	T 10	T 15	T 16	T 17	T 18	T 23	T 24	T 25	T 26
3 d		7,31	7,80	9,46	10,77	5,25	6,07	6,79	6,50	3,13	4,21	3,80	2,60
7 d	15,08	10,24	8,34	13,22	14,34	7,79	9,57	7,84	9,72	5,31	5,41	4,69	4,46
28 d	24,72	15,45	17,86	18,86	17,19	9,43	10,30	11,27	10,58	6,21	6,61	6,13	6,27

**Figura 23.** Média da resistência à compressão simples dos tratamentos com cimento CP V-ARI.**Legenda**

<b>T 2</b>	ARI + areia + água	<b>T 15</b>	ARI + 16% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 23</b>	ARI + 24% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 7</b>	ARI + 8% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 16</b>	ARI + 16% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 24</b>	ARI + 24% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 8</b>	ARI + 8% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 17</b>	ARI + 16% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 25</b>	ARI + 24% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 9</b>	ARI + 8% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 18</b>	ARI + 16% fibras água quente	<b>T 26</b>	ARI + 24% fibras água quente
<b>T 10</b>	ARI + 8% fibras água quente				

Os melhores resultados da análise das médias da resistência à compressão, obtidas através do teste de Tukey, dos tratamentos, independentemente das idades, foram T 2 (testemunha 24,72 MPa) = T 9 = T 10 = T 8 = T 7, seguindo a seqüência, T 15 = T 17 = T 18 = T 16 e os tratamentos inferiores foram T 25 = T 26 = T 24 = T 23, estatisticamente iguais entre si, ao nível de 5% de significância. A resistência à compressão foi sempre maior aos 28 dias do que aos 7 dias e aos 3 dias.

**Tabela 29.** Análise estatística do ensaio de compressão simples do cimento CP V-ARI.

Compressão simples teste de Tukey - Cimento CP V-ARI			
T 2 = T 9 = T 10 = T 8 = T 7	<b>a</b>	T 25 = T 26 = T 24 = T 23	<b>c</b>
T 15 = T 17 = T 18 = T 16	<b>b</b>		

**Legenda**

<b>T 2</b> ARI + areia + água	<b>T 25</b> ARI + 24% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 9</b> ARI + 8% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 26</b> ARI + 24% fibras água quente
<b>T 10</b> ARI + 8% fibras água quente	<b>T 24</b> ARI + 24% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 8</b> ARI + 8% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 23</b> ARI + 24% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 7</b> ARI + 8% fibras 6 h soda cáustica	
<b>T 15</b> ARI + 16% fibras 6 h soda cáustica	<b>a</b> 1º nível de significâncias
<b>T 17</b> ARI + 16% fibras 24 h soda cáustica	<b>b</b> 2º nível de significâncias
<b>T 18</b> ARI + 16% fibras água quente	<b>c</b> 3º nível de significâncias
<b>T 16</b> ARI + 16% fibras 12 h soda cáustica	

Os resultados dos melhores tratamentos dos ensaios à compressão simples dos tratamentos com cimento CP II-E-32 e CP V-ARI estão apresentados na Tabela 30.

**Tabela 30.** Análise estatística do ensaio de compressão simples dos melhores tratamentos com cimento CP II-E-32 e CP V-ARI.

Tratamentos CPII		Tratamentos ARI	
T 6 = T 3 = T 5 = T 1	<b>a</b>	T 2 = T 9 = T 10 = T 8 = T 7	<b>a</b>

**Legenda**

<b>T 6</b> CPII + 8% fibra água quente	<b>T 2</b> ARI + areia + água
<b>T 3</b> CPII + 8% fibra 6 h soda cáustica	<b>T 9</b> ARI + 8% fibra 24 h soda cáustica
<b>T 5</b> CPII + 8% fibra 24 h soda cáustica	<b>T 10</b> ARI + 8% fibra água quente
<b>T 1</b> CPII + areia + água	<b>T 8</b> ARI + 8% fibra 12 h soda cáustica
	<b>T 7</b> ARI + 8% fibra 6 h soda cáustica
<b>a</b> 1º nível de significância	

• **CORRELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRA-SÔNICA**

Nas Tabelas 31 e 32 e nas Figuras 26 a 30 estão apresentadas as médias da resistência à compressão simples em função da velocidade de ondas ultra-sônicas nos corpos-de-prova cilíndricos dos cimentos CP II-E-32 e CP V-ARI, respectivamente.

**Tabela 31.** Média das velocidades da onda ultra-sônica e a resistência à compressão dos corpos-de-prova durante o 3, 7 e 28 dia, feitos com cimento CP II-E-32.

Vel 3 (km/s)	Resis. 3 MPa	Vel 7 (km/s)	Resis. 7 MPa	Vel 28 (km/s)	Resis. 28 MPa
3,18		3,42	15,08	4,17	24,72
3,04	7,31	3,21	10,24	3,75	15,45
2,96	7,80	3,15	8,34	3,56	17,86
3,03	9,46	3,25	13,22	3,91	18,86
2,88	10,77	3,05	14,34	3,58	17,19
	5,25	2,75	7,79	2,85	9,43
	6,07	2,74	9,57	2,89	10,30
	6,79	2,69	7,84	2,79	11,27
	6,50	2,60	9,72	2,75	10,58
	3,13	2,18	5,31	2,34	6,21
	4,21	2,09	5,41	2,18	6,61
	3,80	2,23	4,69	2,37	6,13
	2,60	1,95	4,46	2,04	6,27

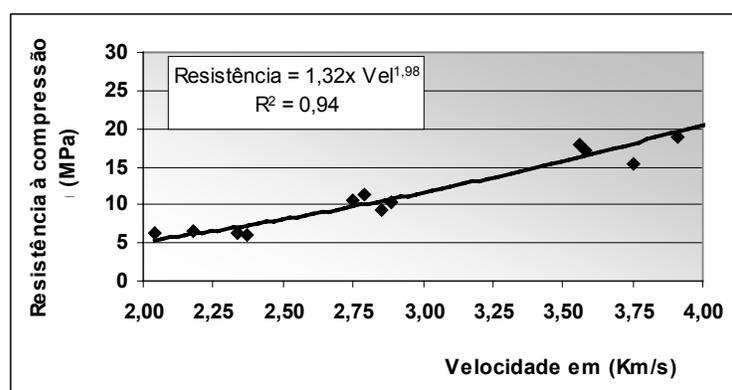
**Tabela 32.** Média das velocidades da onda ultra-sônica e a resistência à compressão dos corpos-de-prova durante o 3, 7 e 28 dia, à base de cimento CP V-ARI.

Vel 3 (km/s)	Resis. 3 MPa	Vel 7 (km/s)	Resis. 7 MPa	Vel 28 (km/s)	Resis. 28 MPa
3,81		3,86	24,17	3,90	33,48
3,46	13,15	3,56	17,33	3,71	20,72
3,48	11,23	3,56	17,64	3,71	22,81
3,64	16,59	3,64	17,00	3,72	19,52
3,46	16,27	3,56	16,61	3,60	19,01
3,14	8,63	3,25	11,26	3,36	12,63
3,02	6,92	3,28	9,57	3,39	11,75
3,13	6,92	3,22	9,57	3,40	11,75
	7,56	3,11	10,26	3,24	12,57
	3,62	2,80	4,39	2,93	6,14
	3,43	2,76	4,43	2,93	6,46
	3,73	2,71	4,80	2,81	6,32
	3,28	2,69	3,56	2,86	6,79

## CIMENTO CP II-E-32

Para corpos-de-prova confeccionados com cimento CP II-E-32, e ensaiados ao terceiro dia, os resultados obtidos não foram suficientes para obter-se uma boa uma correlação entre a velocidade de propagação de onda ultra-sônica e a resistência à compressão simples.

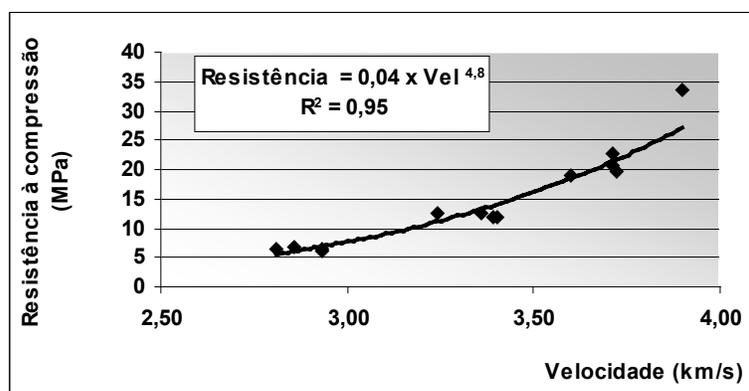
Na Figura 24 está apresentada a correlação entre a velocidade em (km/s) e a resistência em (MPa) para os corpos-de-prova feitos com o cimento CP II-E-32 para 28 dias.



**Figura 24.** Correlação entre velocidade e a resistência aos 28 dias, com cimento CP II-E-32.

## CIMENTO CP V-ARI

Na Figuras 25 está apresentada a correlação entre a velocidade em (km/s) e a resistência em (MPa) para os corpos-de-prova feitos com o cimento CP V-ARI.



**Figura 25.** Correlação entre velocidade e a resistência aos 28 dias, com cimento CP V-ARI.

Em relação aos tipos de cimento CP II-E-32 e CP V-ARI, o modelo de regressão que se adequou à dispersão dos dados foi a curva de potência, que é o tipo de ajuste usual para o concreto convencional, quando se busca correlacionar os dois tipos de ensaio (NEVILLE, 1982).

### • RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL

Os resultados do ensaio de compressão diametral dos corpos-de-prova foram separados de acordo com os tipos de cimento (CP II-E-32 e CP V-ARI), e foram descritos nas Tabelas 33 a 37 e Figuras 26 e 27, respectivamente.

**Tabela 33.** Média da resistência à tração na compressão diametral, para cimento CP II-E-32.

Média - Tração na Compressão Diametral Cimento CP II-E-32													
MPa	T1	T3	T4	T5	T6	T11	T12	T13	T14	T19	T20	T21	T22
	3,63	2,66	2,85	2,76	3,16	2,51	2,13	2,31	2,25	1,37	1,49	1,51	1,49

**Legenda**

<b>T 1</b>	CPII + areia + água	<b>T 13</b>	CPII + 16% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 3</b>	CPII + 8% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 14</b>	CPII + 16% fibras água quente
<b>T 4</b>	CPII + 8% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 19</b>	CPII + 24% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 5</b>	CPII + 8% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 20</b>	CPII + 24% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 6</b>	CPII + 8% fibras água quente	<b>T 21</b>	CPII + 24% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 11</b>	CPII + 16% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 22</b>	CPII + 24% fibras água quente
<b>T 12</b>	CPII + 16% fibras 12 h soda cáustica		

**Tabela 34.** Análise estatística do ensaio de resistência à tração na compressão diametral dos melhores tratamentos com cimento CP II-E-32.

Tração na Compressão Diametral Cimento CP II-E-32			
T 1 = T 6	<b>a</b>	T 11 = T 13 = T 14 = T 12	<b>c</b>
T 6 = T 4 = T 5 = T 3	<b>b</b>	T 21 = T 20 = T 22 = T 19	<b>d</b>

**Legenda**

<b>T 1</b>	CPII + areia + água	<b>T 14</b>	CPII + 16% fibras água quente
<b>T 6</b>	CPII + 8% fibras água quente	<b>T 12</b>	CPII + 16% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 4</b>	CPII + 8% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 21</b>	CPII + 24% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 5</b>	CPII + 8% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 20</b>	CPII + 24% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 3</b>	CPII + 8% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 22</b>	CPII + 24% fibras água quente
<b>T 11</b>	CPII + 16% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 19</b>	CPII + 24% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 13</b>	CPII + 16% fibras 24 h soda cáustica		

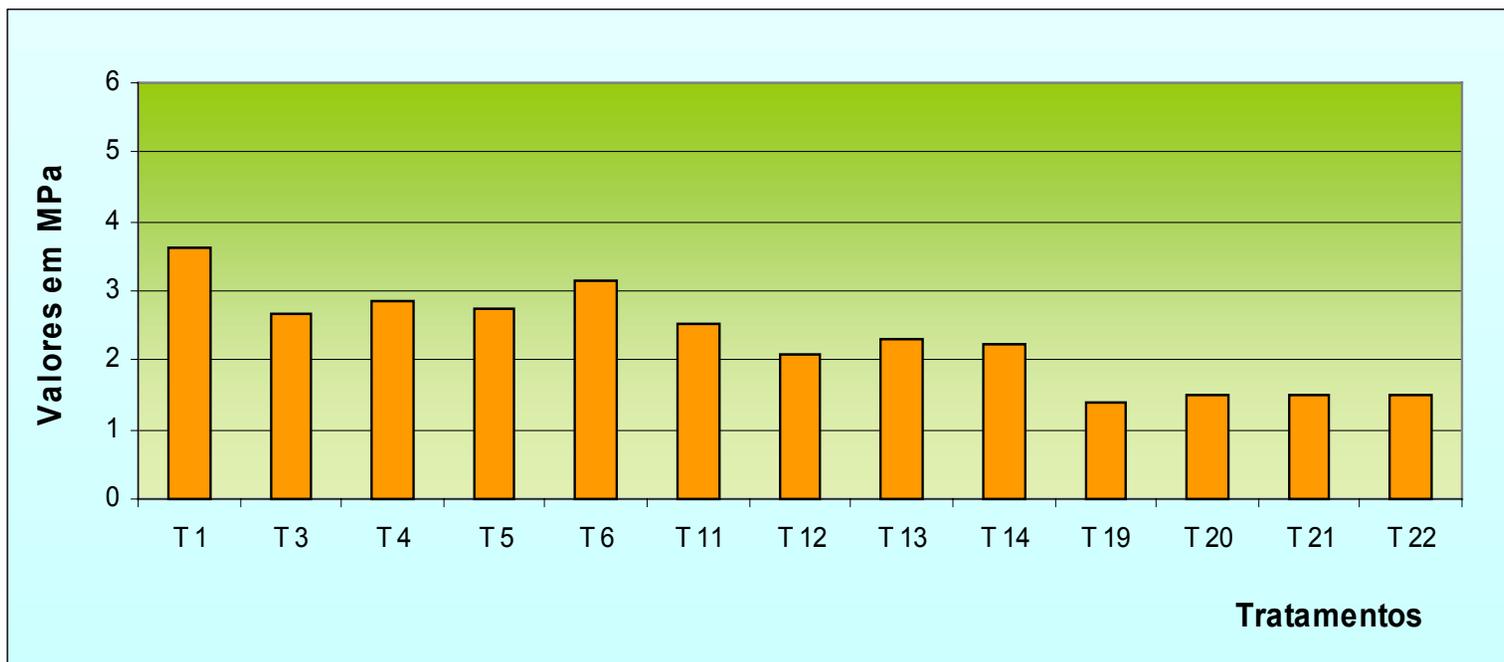


Figura 26. Média dos tratamentos de resistência à tração na compressão diametral, para corpos-de-prova com cimento CP II-E-32.

#### Legenda

T 1 CII + areia + água

T 3 CII + 8% fibras 6 h soda cáustica

T 4 CII + 8% fibras 12 h soda cáustica

T 5 CII + 8% fibras 24 h soda cáustica

T 6 CII + 8% fibras água quente

T 11 CII + 16% fibras 6 h soda cáustica

T 12 CII + 16% fibras 12 h soda cáustica

T 13 CII + 16% fibras 24 h soda cáustica

T 14 CII + 16% fibras água quente

T 19 CII + 24% fibras 6 h soda cáustica

T 20 CII + 24% fibras 12 h soda cáustica

T 21 CII + 24% fibras 24 h soda cáustica

T 22 CII + 24% fibras água quente

**Tabela 35.** Média da resistência à tração na compressão diametral, para cimento CP V-ARI.

Média - Tração na Compressão Diametral Cimento CP V-ARI													
MPa	T2	T7	T8	T9	T10	T15	T16	T17	T18	T23	T24	T25	T26
	4,49	3,12	3,44	3,29	5,70	2,71	2,54	2,80	2,93	1,91	1,55	1,38	1,54

**Legenda**

<b>T 2</b>	ARI + areia + água	<b>T 17</b>	ARI + 16% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 7</b>	ARI + 8% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 18</b>	ARI + 16% fibras água quente
<b>T 8</b>	ARI + 8% fibras 12 h soda cáustica	<b>T 23</b>	ARI + 24% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 9</b>	ARI + 8% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 24</b>	ARI + 24% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 10</b>	ARI + 8% fibras água quente	<b>T 25</b>	ARI + 24% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 15</b>	ARI + 16% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 26</b>	ARI + 24% fibras água quente
<b>T 16</b>	ARI + 16% fibras 12 h soda cáustica		

O teste de Tukey, aplicado às médias da resistência à compressão diametral dos tratamentos, mostrou que, ao nível de 5% de significância estatística, os tratamentos T 10 = T 2 foram iguais entre si e superiores aos tratamentos T 8 = T 9 = T 7 = T 18, também iguais entre si, seguidos dos tratamentos T 18 = T 17 = T 15 = T 16. Os tratamentos que apresentaram resultados inferiores foram T 16 = T 23 = T 24 = T 25 = T 26. Dentre as médias dos tratamentos de compressão diametral, o tratamento T 10 apresentou um resultado superior inclusive à própria testemunha T 2.

**Tabela 36.** Análise estatística do ensaio de resistência à tração na compressão diametral dos melhores tratamentos com cimento CP V-ARI.

Tração na Compressão Diametral Cimento CP V-ARI			
T 10 = T 2	<b>a</b>	T 18 = T 17 = T 15 = T 16	<b>c</b>
T 8 = T 9 = T 7 = T 18	<b>b</b>	T 16 = T 23 = T 24 = T 25 = T 26	<b>d</b>

**Legenda**

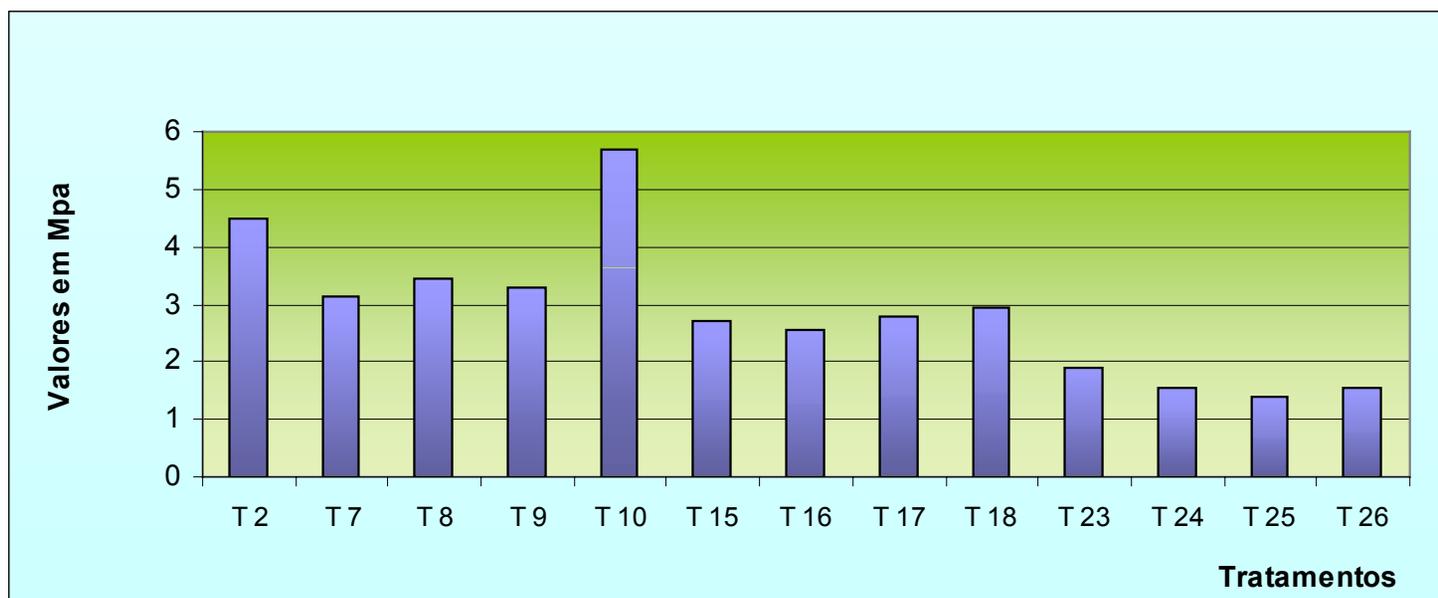
<b>a</b>	1º nível de significância	<b>c</b>	3º nível de significância
<b>b</b>	2º nível de significância	<b>d</b>	4º nível de significância

**Tabela 37.** Análise estatística do ensaio de resistência à tração na compressão diametral dos melhores tratamentos com cimento CP II-E-32 e CP V-ARI.

Tratamentos CP II-E-32		Tratamentos CP V-ARI	
T 1 = T 6	<b>a</b>	T 10 = T 2	<b>a</b>

**Legenda**

<b>T 1</b>	CPII + areia + água	<b>T 2</b>	ARI + areia + água
<b>T 6</b>	CPII + 8% fibra água quente	<b>T 10</b>	ARI + 8% fibra água quente
<b>a</b>	1º nível de significância		



**Figura 27.** Média dos tratamentos de resistência à tração na compressão diametral, para corpos-de-prova com cimento CP V-ARI.

#### Legenda

**T 2** ARI + areia + água

**T 7** ARI + 8% fibras 6 h soda cáustica

**T 8** ARI + 8% fibras 12 h soda cáustica

**T 9** ARI + 8% fibras 24 h soda cáustica

**T 10** ARI + 8% fibras água quente

**T 15** ARI + 16% fibras 6 h soda cáustica

**T 16** ARI + 16% fibras 12 h soda cáustica

**T 17** ARI + 16% fibras 24 h soda cáustica

**T 18** ARI + 16% fibras água quente

**T 23** ARI + 24% fibras 6 h soda cáustica

**T 24** ARI + 24% fibras 12 h soda cáustica

**T 25** ARI + 24% fibras 24 h soda cáustica

**T 26** ARI + 24% fibras água quente

• **RAZÃO ENTRE COMPRESSÃO SIMPLES E DIAMETRAL**

A resistência à tração (obtida através do ensaio de compressão diametral) é um indicador adequado de todos os tipos de solicitações e normalmente existe uma relação direta entre ela e a resistência à compressão. A razão entre os compósitos fabricados com os cimentos CP II-E-32 e CP V - ARI, em termos do quociente (compressão diametral dividida pela compressão simples), em função da porcentagem de fibras e do fator água cimento, tanto para os cimentos CP II-E-32 e CP V-ARI; está apresentada na Tabela 38.

**Tabela 38.** Razão entre compressão diametral e compressão simples para cimento CP II-E-32 e CP V-ARI, na idade de 28 dias.

Fibras	Razão água/cimento	CPII	ARI
8%	0,60	0,12	0,18
16%	0,75	0,05	0,17
24%	0,90	0,09	0,02

Para corpos-de-prova à base de cimento (argamassa e concreto), normalmente a razão entre as resistências à compressão diametral e à compressão simples, é da ordem de 0,10. Observa-se que com exceção do compósito à base de cimento CP V-ARI e com 24% de fibras, os demais corpos-de-prova apresentam uma tendência de que esse valor fosse obtido.

A seguir, apresenta-se na Tabela 39, uma síntese dos melhores resultados obtidos aplicados aos ensaios realizados em todos os tratamentos dos corpos-de-prova cilíndricos.

**Tabela 39.** Síntese dos melhores resultados obtidos pelo teste de Tukey.

Ensaio	CP II-E-32	CP V-ARI
END – ULTRA-SOM	T 1 = T 5	T 9 = T 7 = T 8 = T 18 = <b>T 10</b>
ABSORÇÃO DE ÁGUA	<b>T 6</b> = T 3 = T 5 = T 1	T 2 = T 9 = <b>T 10</b> = T 8 = T 7
COMPRESSÃO SIMPLES	<b>T 6</b> = T 3 = T 5 = T 1	T 2 = T 9 = <b>T 10</b> = T 8 = T 7
COMPRESSÃO DIAMETRAL	T 1 = <b>T 6</b>	<b>T 10</b> = T 2

**Legenda**

<b>T 1</b>	CPII + areia + água	<b>T 9</b>	ARI + 8% fibras 24 h soda cáustica
<b>T 5</b>	CPII + 8% fibras 24 h soda cáustica	<b>T 7</b>	ARI + 8% fibras 6 h soda cáustica
<b>T 6</b>	CPII + 8% fibras água quente	<b>T 8</b>	ARI + 8% fibras 12 h soda cáustica
<b>T 3</b>	CPII + 8% fibras 6 h soda cáustica	<b>T 18</b>	ARI + 16% fibras água quente
		<b>T 10</b>	ARI + 8% fibras água quente
		<b>T 2</b>	ARI + areia + água

**CPII:** Baseado na Tabela 39 pode-se concluir que o tratamento mais adequado para a confecção das placas de pisos foi o T 6 (CPII + 8 % fibras água quente), pois apenas no ensaio de ultra-som ele foi superado pelo tratamento T 5 (CPII + 8% fibras soda cáustica 24 h).

**ARI:** O tratamento mais indicado foi o T 10 (ARI + 8% fibras água quente), o qual forneceu em todos os ensaios nos corpos-de-prova cilíndricos os melhores resultados, embora o tratamento T 9 (ARI + 8% fibras 24 h soda cáustica) e o tratamento T 8 (ARI + 8% fibras 12 h soda cáustica) também tenham apresentado diferença estatística apenas na compressão diametral. O tratamento T 10 apresentou um resultado superior inclusive à própria testemunha (T 2). Com os dados obtidos, analisados e interpretados estatisticamente, e considerando-se os dois tipos de cimento, escolheu-se, para a realização das placas de piso, o tratamento T 10 (ARI + 8% fibras água quente), por apresentar, em todos os ensaios, os melhores resultados.

### 5.3. ENSAIOS NAS PLACAS DE 10 cm x 10 cm x 3 cm

Os ensaios nas placas de 10 cm x 10 cm x 3 cm foram realizados com materiais à base dos tratamentos T 10 (ARI + 8% fibras água quente), e de um novo tratamento chamado Peças especiais (1/3 de argamassa + 2/3 do T 10), não descrito na Tabela 2, e peças industriais da empresa Braston. Estas duas últimas amostras doravante foram determinadas como testemunhas de alguns ensaios, cujos resultados serão apresentados a seguir.

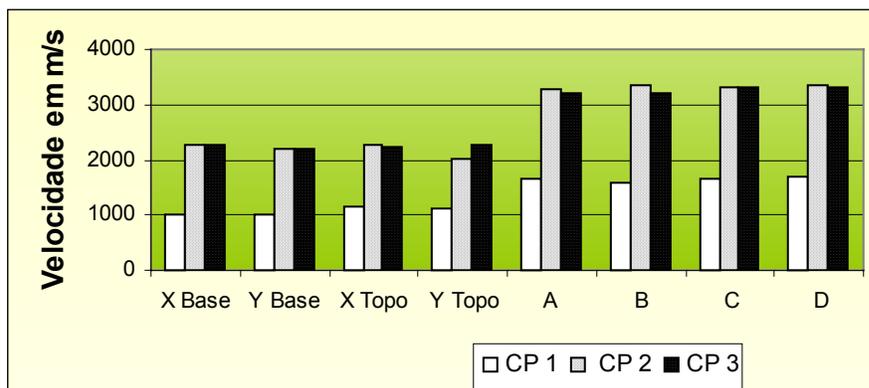
#### 5.3.1. END – ENSAIO NÃO DESTRUTIVO - Ultra-Som

Os resultados das médias do ensaio de ondas ultra-sônicas estão descritos na Tabela 40 e na Figura 34, respectivamente. Foram analisadas as placas do Tratamento T 10 (ARI + 8% fibras água quente), durante o primeiro, o terceiro e o quinto dia.

**Tabela 40.** Médias das velocidades de propagação de ondas das placas 10 cm x 10 cm x 3 cm.

CP	Médias							
	X Base	Y Base	X Topo	Y Topo	A	B	C	D
1	1026	1016	1157	1122	1675	1582	1647	1692
2	2278	2193	2268	2016	3268	3344	3333	3367
3	2278	2212	2222	2262	3215	3205	3300	3333

Na Figura 28 foram comparadas as velocidades de propagação da onda ultra-sônica nas faces: base (fundo da fôrma) e topo (parte superior). Em geral, não se verificou diferença significativa, com a aplicação do teste de Tukey, entre a base e o topo, e entre os pontos A, B, C, D, durante este ensaio.



**Figura 28.** Comparação entre a velocidade da base e topo e os pontos A, B, C, D.

Baseado na Figura 28 o material apresentado possui dois eixos de simetria em relação à velocidade de propagação da onda ultra-sônica, podendo ser considerado um material ortotrópico.

A exemplo do que já havia sido observado nos corpos-de-prova cilíndricos (Tabelas 9 e 10), a estabilização das velocidades foi muito rápida e, principalmente, no caso das placas, não se observou diferença nos valores obtidos a partir do terceiro dia.

### 5.3.2. MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO

Os resultados do ensaio de flexão nas placas de 10 cm x 10 cm x 3 cm estão apresentados na Tabela 41 e na Figura 29, respectivamente.

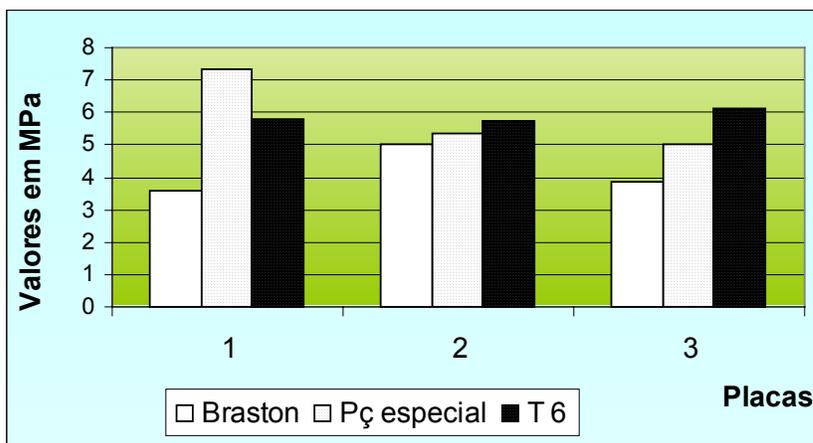
**Tabela 41.** Tratamento T 10, peças Braston e Peça Especial.

CPs	Braston	Peça Especial	T 10
	MPa	MPa	MPa
1	3,56	7,33	5,80
2	5,02	5,34	5,76
3	3,84	5,00	6,14
<b>Média</b>	4,14	5,89	5,90

**Legenda**

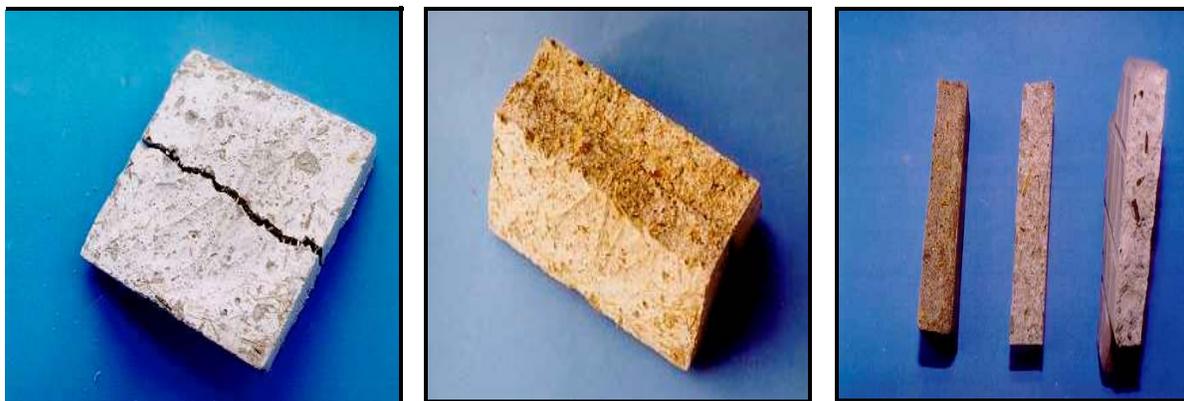
T 10- Ari + 8 % fibras + água quente  
Braston - peça de concreto

Peça Especial - 1/3 de argamassa + 2/3 T 10



**Figura 29.** Resultados dos ensaios de flexão das placas (MPa).

Os resultados do teste de Tukey, aplicados aos ensaios de resistência à flexão das placas, mostraram que, ao nível de 5% de significância estatística, não existiu diferença significativa entre os três tipos de amostras. A ruptura das peças Braston foi frágil, pois o concreto tem pouca resistência à flexão. Detalhes do ensaio de flexão estão mostrados na Figura 30.



30a) Ruptura T 10

30b) Ruptura Peça Especial

30c) Ruptura T 10, Peça Especial, Braston

**Figura 30.** Detalhes das amostras das placas após a ruptura.

**Foto:** Roberto Ferreira.

### 5.3.3. RESISTÊNCIA À ABRASÃO SUPERFICIAL

Foram realizados testes de abrasão superficial de acordo com a norma da ABNT 13818, anexo D. Os resultados das placas foram definidos em função da falha visual e de acordo com o

número de ciclos. Os testes foram iniciados a partir de 600 giros, passando-se por 1500 e 12000 giros pela máquina abrasímetro. Após os 12000 giros foram realizados os testes de manchamento para verificar se a placa poderia ser comparada com PEI 5. Na Tabela 42 e Figura 31 apresentam-se os resultados iniciados a partir de 600 giros (PEI 2).

**Tabela 42.** Desgaste por 600 giros.

600 Giros			
Cps	Placas		Classes de abrasão
	1	Base T 10	PEI 2
	2	Topo T 10	PEI 2
	3	Peça especial	PEI 2

**Legenda**

T 10 - Ari + 8 % fibras + água quente

Peça Especial - 1/3 de argamassa + 2/3 T 10

PEI 2 Pisos, suítes e paredes

Não foram utilizadas peças da empresa Braston para a quantidade de giros 600 e 1500 giros; a peça originária da empresa Braston somente foi ensaiada com 12000 giros, passando, a mesma também pelo ensaio de manchamento.



31a)T 10 Base.

31b)T 10 Topo.

31c)Peça Especial.

**Figura 31.** Peças de 10 x 10 cm<sup>2</sup> ensaiadas por abrasão superficial a 600 giros.

**Foto:** Flávia Vieira.

Verificou-se nas faces base (fundo da fôrma) e topo (parte superior), do tratamento T 10, diferenças visuais significativas. O que pode-se concluir é que, nas peças especiais o desgaste foi

superficial se comparado com a base e topo do tratamento T 10. Na Tabela 43 e na Figura 32 estão apresentados os desgastes por 1500 giros (PEI 3).

**Tabela 43.** Desgaste por 1500 giros.

1500 Giros			
Cps	Placas		Classes de abrasão
	4	Base T 10	3
	5	Topo T 10	3
	6	Peça especial	3

**Legenda**

T 10 - Ari + 8 % fibras + água quente

Peça Especial - 1/3 de argamassa + 2/3 T 10

PEI 3 Corredores, salas, dormitórios



32a)T 10 Base.

32b)T 10 Topo.

32c) Peça Especial.

**Figura 32.** Peças de 10 x 10 cm<sup>2</sup> ensaiadas por abrasão superficial a 1500 giros.

**Foto:** Flávia Vieira.

O aspecto visual do tratamento T 10 (base e topo) mostrou maior desgaste quando comparado com 600 giros. Para as peças especiais o desgaste foi superficial se comparado com a base e o topo do tratamento T 10.

Isto significa que, apesar de estarem sendo abrasionadas a uma quantidade maior de giros, as peças especiais ainda apresentam um bom resultado.

Os resultados do desgaste por abrasão superficial com 12000 giros, para simular um PEI 4 e 5, estão apresentados na Tabela 44 e Figura 33e 34.

**Tabela 44.** Desgaste por 12000.

12000 Giros		
Cps	Placas	Classes de abrasão
7	Base T 10	PEI 4
8	Topo T 10	PEI 4
9	Peça especial	PEI 4
	Peça Braston	PEI 4

**Legenda**

T 10 - Ari + 8 % fibras + água quente

Peça Especial - 1/3 de argamassa + 2/3 do tratamento T 10

Braston - peça de concreto

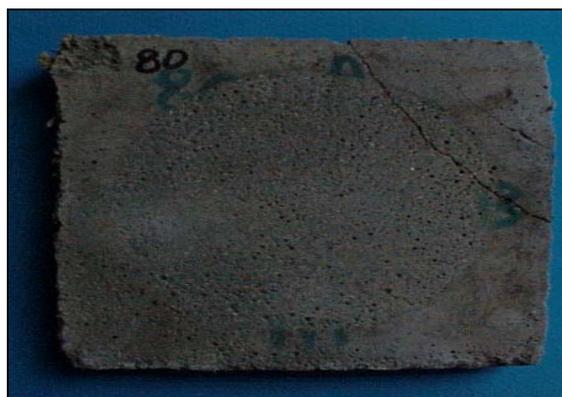
PEI 4 Cozinha, farmácias, bancos etc.



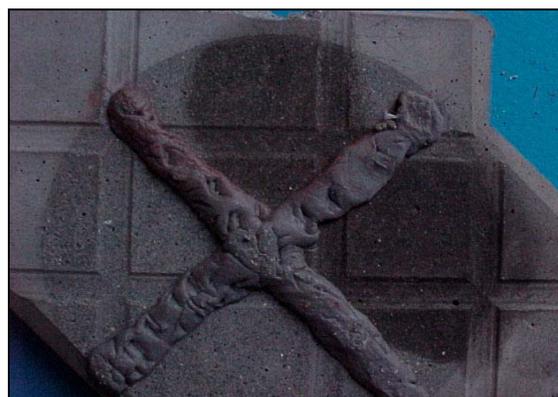
33a)T 10 Base.



33b)T 10 Topo.

**Figura 33.** Peças de 10 x 10 cm<sup>2</sup> ensaiadas por abrasão superficial a 12000 giros.**Foto:** Flávia Vieira.

34a)Peça Especial.



34b) Peça Braston mais ensaio de manchamento detalhe massa de vedação.

**Figura 34.** Peças de 10 x 10 cm<sup>2</sup> ensaiadas por abrasão superficial a 12000 giros.**Foto:** Flávia Vieira.

Pode-se concluir que as peças do tratamento T 10 (Base) desgastou-se muito mais se comparadas com as peças do tratamento T 10 (Topo), com as especiais e com a peça da empresa Braston. Ao comparar-se as peças da empresa Braston com as peças especiais pode-se concluir que ambas apresentaram um resultado semelhante para o desgaste de 12000 giros.

### 5.3.4. RESISTÊNCIA AO MANCHAMENTO

Os resultados obtidos neste ensaio, determinados pela NBR 13818, estão apresentados nas Tabelas 45. A norma determina que nenhum produto cerâmico pode ser oferecido ao mercado consumidor sem que no mínimo, não pertença à classe 3.

**Tabela 45.** Agentes manchantes no Tratamento T 10, Peças Especiais e Braston.

Agentes manchantes			
Agentes	Classe de Limpabilidade		
Óxido de cromo	T 10	10	1
Óxido de ferro		11	1
Iodo		12	3
Azeite de Oliva		13	1
Caneta – Pilot		14	1
Café – Mellita		15	3
Rejunte – Portokoll		16	4
Nugett – Poliflor		17	1
Borracha – Martelo de borracha		18	3
Óxido de cromo		Peças Especiais	
Óxido de ferro	19		2
Iodo			3
Azeite de Oliva	20		1
Óxido de ferro	Peça Braston	A	1
Iodo		B	3
Azeite de Oliva		C	1

#### Legenda

T 10 - Ari + 8 % fibras + água quente

Peça Especial - 1/3 de argamassa + 2/3 do tratamento T 10

Braston - peça de concreto

Classe de Limpabilidade

4 Mancha removida com detergente neutro

3 Mancha removida com detergente foret – Pasta Cristal

1 Mancha não removida

Pode-se concluir que nenhuma das peças ensaiadas foi limpa com água, portanto nenhuma pertence à classe 5. Tanto o T 10, como a peça da Braston, comportaram-se de maneira equivalente, tendo sido difícil efetuar a limpeza e a remoção de manchas. Como conclusão todas as peças ensaiadas deveriam apresentar uma camada protetora superficial.

### 5.3.5. RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO

Os resultados estão apresentados nas Tabelas 46, e Figura 35 respectivamente.

**Tabela 46.** Agentes químicos utilizados no tratamento T 10, Peças Especiais e Braston.

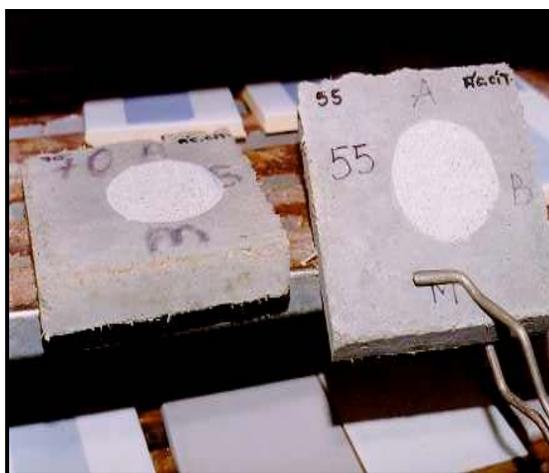
ATAQUE QUÍMICO			
T 10	21	Ácido cítrico	C
	22	Ácido cítrico	C
	23	Ácido clorídrico	C
	24	Ácido clorídrico	C
	25	Hidróxido de potássio	B
	26	Hidróxido de potássio	B
Peça Especial	27	Ácido cítrico	C
	28	Ácido clorídrico	C
	29	Hidróxido de potássio	B
Braston	A	Ácido cítrico	C
	B	Ácido clorídrico	C
	C	Hidróxido de potássio	C

#### Legenda

T 10 - Ari + 8 % fibras + água quente

Classes de resistência química

Classe B Leve alteração na superfície  
Classe C Perda total ou parcial da superfície



**Figura 35.** Peças atacadas pelo ácido cítrico.

**Foto:** Roberto Ferreira.

Independentemente dos agentes manchantes todas as amostras ensaiadas foram atacadas e não atenderam aos requisitos da NBR 13818.

### 5.3.6. ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para a avaliação final das amostras, os parâmetros utilizados foram aqueles referentes às condições exigíveis da NBR 13818 e estão apresentadas na Tabela 47 e na Figura 36.

**Tabela 47.** Absorção de água (%) no tratamento T 10, Peças Especiais e Braston.

ABSORÇÃO DE ÁGUA EM (%)		
<b>T 10</b>	30	8,5
	31	10,0
	32	8,0
	33	9,0
	34	7,1
	<b>média</b>	<b>8,5</b>
<b>Peças Especiais</b>	35 A	6,9
	35 B	7,0
	<b>média</b>	<b>7,0</b>
<b>Peça Braston</b>	1	6,1
	2	5,9
	<b>média</b>	<b>6,0</b>

**Legenda**

T 10 - Ari + 8 % fibras + água quente.

Peça Especial - 1/3 de argamassa + 2/3 do tratamento T 10.

Braston - peça de concreto.

A absorção de água é uma das características importantes para a qualidade dos revestimentos e, portanto, é usada como parâmetro de classificação de pisos cerâmicos. Na Figura 36 apresenta-se a média dos resultados de absorção de água; estatisticamente os resultados foram iguais pelo teste de Tukey.



**Figura 36.** Média dos resultados de absorção de água.

Quanto menor for a quantidade de poros, menor será a absorção de água, e maior será a resistência mecânica. A placa T 10, a peça especial e a peça da empresa Braston, apresentaram

valores significativos para a indicação para pisos. Ao comparar-se com a NBR 13818, as placas seriam consideradas materiais semi-porosos, podendo ser indicados para lugares sujeitos a tráfego médio.

### 5.3.7. RESISTÊNCIA À ABRASÃO PROFUNDA

O resultado é expresso em volume de material removido, (milímetros cúbicos). A norma determina para este ensaio um volume de retirada de 205 mm<sup>3</sup>. O resultado do tratamento T 10 (ARI + 8% fibras água quente) foi um volume médio de 782 mm<sup>3</sup>. Na Tabela 48 apresentam-se comparativos com a norma, em mármore e nas peças de porcelanato Portobello. Este ensaio não foi realizado com as peças especiais e com as peças da empresa Braston.

**Tabela 48.** Padrão da Norma quanto à abrasão profunda.

Norma	T 10	Mármore	Porcelanato Portobello
Menor 205 mm <sup>3</sup>	782 mm <sup>3</sup>	345 mm <sup>3</sup>	110 mm <sup>3</sup>

Para a utilização em áreas de piso, conforme a norma NBR 138181, a placa T 10 não é indicada, pois haveria muito desgaste, conforme apresentado na Figura 37.



**Figura 37.** Resultado do desgaste das peças por abrasão profunda.  
**Foto:** Ester – CTC Centro Tecnológico de Cerâmica – Criciúma – SC.

### 5.3.8. RESISTÊNCIA AO IMPACTO

O resultado da resistência ao impacto, através da medição do coeficiente de restituição, apresentou um valor médio nulo. A placa não apresentou nenhuma deformação e nenhum sinal de lascas. Pode-se concluir que a placa absorveu impacto, podendo ser considerada um excelente material isolante, além de ter cumprido as características exigíveis pela NBR 13818, para piso.

## 6 – CONCLUSÕES

A partir das condições nas quais se desenvolveu o presente trabalho, os dados obtidos, depois analisados e interpretados estatisticamente, permitiram obter as seguintes conclusões:

### **Em relação às partículas de *Bambusa tuldoides* e ao material obtido**

- ? Dentre os tratamentos nas partículas de bambu, a lavagem com água quente à temperatura de 80° C, por duas horas, proporcionou a obtenção dos melhores resultados no ensaio de compósitos em compressão simples comparados com os hidróxido de sódio a 6 h, 12 h, exceção feita ao tratamento com o cimento CPII, 8% de partículas tratadas com hidróxido de sódio por 24 h;
- ? Para o cimento CPII o melhor tratamento efetuado nos corpos-de-prova foi a testemunha (CPII + areia + água), seguida pelo tratamento com 8% de fibras tratadas em solução de hidróxido de sódio por 24 horas, resultado conferindo pelos testes de compressão, absorção de água, compressão diametral e ensaio de ultra-som;
- ? O melhor resultado para o compósito com cimento ARI foi o tratamento T 10 com 8% de partículas tratadas por imersão em água quente por duas horas para os ensaios de resistência à compressão, absorção de água, compressão diametral e ensaio de ultra-som,

- ? Os valores de resistência à compressão simples dos compósitos com partículas de bambu foram sempre superiores aos 28 dias do que aos 3 dias, mantendo o mesmo comportamento mecânico conhecido para as argamassas de cimento;
- ? Os resultados indicaram uma forte correlação matemática entre os dados de velocidade ultra-sônica e os de resistência à compressão simples, sendo a curva de potência o modelo de regressão que melhor se adequou à dispersão dos dados com o cimento ARI aos 28° dias ( $R^2 = 0,95$ ).

#### **Em relação às placas para piso**

- ? A comparação com a norma NBR 13818 comprovou que a placa do compósito de cimento T 10 (ARI + 8% de partículas tratadas em água quente) atendeu às especificações para pisos quanto a resistência à flexão, ao impacto e absorção de água;
- ? A comparação com a norma NBR 13818, comprovou que a placa do compósito de cimento T 10 (ARI + 8% de partículas tratadas em água quente) não atendeu às especificações para pisos quanto à resistência à abrasão profunda, ao ataque químico e ao manchamento;
- ? Para melhorar a resistência à abrasão superficial e profunda, o material deverá receber uma camada de argamassa protetora.

## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGGARWAL, L. K. **Bagasse Reinforced Cement Composites**. In Cement and Concrete Composites. 17: p.107-112, 1995.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. e DEROLLE A. **Construindo com fibras vegetais**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas / Divisão de construção civil. Encarte Técnico IPT/PINI. Construção São Paulo 2200, Abril 1990.

AGOPYAN, V. – **O emprego de materiais fibrosos na construção civil**. In: Simpósio Internacional sobre materiais reforçados com fibras para construção civil. EPUSP, p. 11-25, 1993.

ANTUNES, M. C. C. A. – **O bambu na construção**. In Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras, São Carlos, SP, 1987. Anais 1987, Volume III, 48p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT**, Rio de Janeiro. NBR.

\_\_\_\_\_ **NBR 5733** – Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991. 5p.

\_\_\_\_\_ **NBR 7211** – Agregados para concreto, especificação. Rio de Janeiro, 1983. 5p.

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

\_\_\_\_\_ **NBR 7217** – Agregados: determinação da composição granulométrica, método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987. 3p.

\_\_\_\_\_ **NBR 7222** – Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. 5p.

\_\_\_\_\_ **NBR 9778** – Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água ou imersão – índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987. 3p.

\_\_\_\_\_ **NBR 11578** – Cimento Portland composto, especificação. Rio de Janeiro, 1991. 8p.

\_\_\_\_\_ **NBR 13818** – Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997. 78p.

**ASTM C 5011-84.** Standart Test method for Relative Resistance to Wear of Unglazed Ceramic Tile by the Taber Abraseer, 1996.

AZZINI, A.; GONDIM-TOMAZ, R. M. A. **Extração de amido em cavacos de bambu tratados com solução diluída de hidróxido de sódio.** Revista Bragantia, 55(2): p. 215-219, Campinas - SP, 1996.

BARBOSA, J. C. – **Utilização do bambu na produção de habitação de interesse social.** 160p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura, Universidade de São Paulo - São Carlos, SP, 1997.

BERALDO, A. L.; ROLIM, M.M. – **Efeitos de tratamento sobre a resistência à compressão de compósitos cimento-madeira de reflorestamento.** In CADIR 96 – IV Congreso Argentino y II Congreso Internacional de Engenharia Rural – Anais (10), 1996. p. 773-778.

BERALDO, A. L.; BARTHOLOMEU, A.; BATISTA, A. M. ; FAGUNDES, A. C>; ROLIM, M. M. E SEGANTINI, A. A. **Viabilidade de fabricação de compósitos resíduos de madeiras e cimento Portland (CBS).** In: Workshop Reciclagem e reutilização de resíduos como material de construção civil. p. 79-84, 1996.

BERALDO, A. L. – **Compósitos de biomassa vegetal-cimento.** Manuscrito da disciplina Ap 399. Tópicos Especiais em Construções. Edições internas. Feagri/Unicamp 1997a.

BERALDO, A. L. – **Bambu-Cimento: Alternativas para construções rurais.** In: I Encontro Nacional sobre Edificações Sustentáveis. Anais, p. 145-150, 1997b.

BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; LOPES, W.; VALENCIANO, M.; MARTINS, S. **Protótipo de Edificação com uso de diferentes espécies de bambu**. In: VII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. São Carlos, SP, 84p., 2000.

BODIG, J. e JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida. 711p., 1993.

CEPED – **Utilização de fibras vegetais no Fibro-Cimento e no Concreto-Fibra**. Camaçari, Bahia, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. Rio de Janeiro, BNH/DEPEA, 72 p., 1982.

DABUS ARQUITETURA. Dicas sobre materiais para pisos. <<http://www.dabus.com.br/dicas/dicas.html>>, 23/05/2001.

FRICK, O. F. V. Studies of wear on flooring materials. *Wear*, 14, p. 119-131, 1969.

IRWIN, W. E. Desenvolvimento of a Method to Measure Wear on Resilient Flooring. **Journal of Testing and Evaluation**, JTEVA, Vol.4 N° I, p 15-20, Jan 1976.

JANSSEN, J.J.A. – **Bamboo research at the Eindhoven University of Technology**. The Netherlands, Faculty of Building of Eindhoven University of Technology, 23p.,1984.

KOGA, R. C. **Resistência à abrasão de madeira e bambu laminados colados utilizados como elementos de piso**. 117 p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP. 2001.

MENEZES, T. J. B.; AZZINI, A. - **O bambu, uma nova matéria prima para produção de etanol**. Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos. Campinas, SP, p.145-154, 1981.

NEVILLE, ADAM. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 2ª edição, p. 149-153, 1982.

PIMENTEL, L. L. – **Viabilidade da fabricação de telhas onduladas utilizando compósito à base de *Pinus caribaea***. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP- Campinas - SP, 67p.,2000.

ROSS, R. J.; BRASHWA, B. K.; PELLERIN, R. F. – **Nondestructive evaluation of wood.** Forest Products Journal, Vol.48, n.1, p. 14-19, 1998.

SALGADO, A L. B. – **A utilização do bambu como pontalete na construção civil.** Campinas, Cotação de Material, 12 (134), p. 10-11, 1993.

SARMIENTO, C. R. - **Argamassa de cimento reforçada com fibras de bagaço de cana-de-açúcar e sua utilização como material de construção.** 110p. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1996.

SARMIENTO, C. R. e FREIRE, W. J. – **Tratamentos aplicados ao bagaço de cana-de-açúcar visando sua utilização para fins de material de construção.** In: Workshop reciclagem e reutilização de resíduos como material de construção civil. p. 132-137, 1996.

SAVASTANO, J. H.; DANTAS, F. A. S. e AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras – correlação entre a zona de transição fibra-matriz e as propriedades mecânicas.** IPT, Boletim 67, 58p, 1994.

SAVASTANO, J. H.; PIMENTEL, L. L. – Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** V. 4, n.1, p. 103-110, 2000.

TEZUKA, Y. **Concreto Armado com Fibras.** Associação Brasileira de Cimento Portland, 2 ed. 28 p. (ET-94). CDD 691.3159. São Paulo, 1999.

ZUCCO, L. L. **Estudo da viabilidade de fabricação de placas de compósitos à base de cimento e casca de arroz.** 118 p. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. Maio 1999.