

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO

CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSA MODIFICADA POR
PARTÍCULA VEGETAL PARA NIVELAMENTO DE CONTRAPISO

Arq^a. Francisca Julia França Ferreira de Melo

Orientador: Prof.º Dr. Mauro Augusto Demarzo

Campinas, SP

Maio de 2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO

CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSA MODIFICADA POR
PARTÍCULA VEGETAL PARA NIVELAMENTO DE CONTRAPISO

Dissertação de Mestrado submetida à banca
examinadora para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Civil, na área de concentração
de Arquitetura e Construção.

Arq^a. Francisca Julia França Ferreira de Melo

Orientador: Prof.^o Dr. **Mauro Augusto Demarzo**

Campinas, SP

Maio de 2007

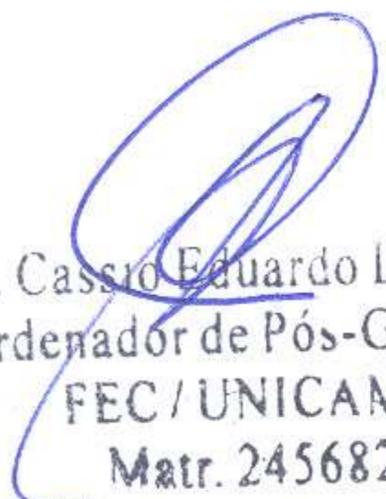
ERRATA

Ficha Catalográfica

Onde se lê Data da defesa: 14/05/2007, o correto é Data da defesa: 04/05/2007. ✓

Folha de aprovação

Onde se lê Aprovado em 14 de Maio de 2007, o correto é Aprovado em 04 de Maio de 2007.


Prof. Dr. Cassio Eduardo Lima de Paiva
Coordenador de Pós-Graduação
FEC / UNICAMP
Matr. 245682

OK ✓

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

M491c Melo, Francisca Julia França Ferreira de
Caracterização de argamassa modificada por partícula
vegetal para nivelamento de contrapiso / Francisca Julia
França Ferreira de Melo. --Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Mauro Augusto Demarzo.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Argamassa. 2. Materiais compostos. 3. Resíduos
vegetais - Reaproveitamento. 4. Pisos. I. Demarzo,
Mauro Augusto. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: characterization of mortar modified by vegetal particle
for levelling of rough floor

Palavras-chave em Inglês: Mortar, Composite materials, Vegetable
residues recycling, Floors

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Francisco Antonio Rocco Lahr, Vitor Antonio Ducatti

Data da defesa: 14/05/2007

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

FICHA DE APROVAÇÃO

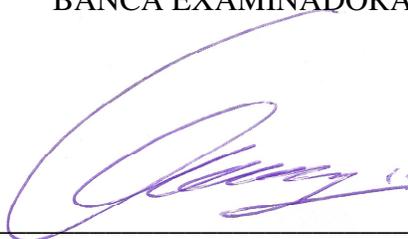
Francisca Julia França Ferreira de Melo

CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSA MODIFICADA POR PARTÍCULA VEGETAL PARA NIVELAMENTO DE CONTRAPISO

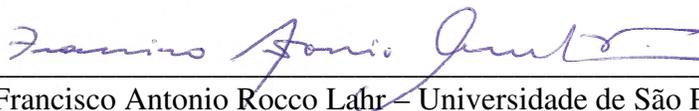
Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Arquitetura e Construção.

Aprovado em 14 de Maio de 2007

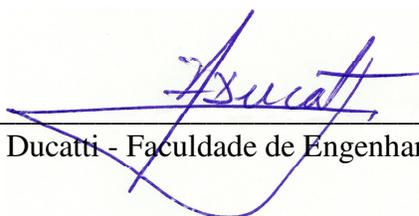
BANCA EXAMINADORA



Profº. Dr. Mauro Augusto Demarzo – Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP
(Professor-orientador)



Profº. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr – Universidade de São Paulo - USP



Profº. Dr. Vitor Antonio Ducatti - Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP

*Aos meus amados pais, Sebastião e Zenilde, por terem
acreditado e apoiado mais esta etapa da minha vida.*

Agradecimentos

Todo grande sonho não nasce sozinho. Cada parte dele tem a dedicação, a compreensão, a amizade e o suor de quem sonhou junto. A todos que me ajudaram a viver este sonho, quero agradecer e compartilhar este trabalho.

Em especial aos meus pais pelo amor e confiança depositados em mim. Aos meus irmãos, Ricardo e Gabriela, pelo carinho e amizade.

Ao meu querido Fernando, Por me ensinar que existem novas e melhores emoções, por me fazer cada vez mais feliz, por estar sempre presente com um gesto de amor, uma palavra amiga ou silêncio, se necessário; por ser companheiro nos momentos alegres e nos momentos difíceis, por me compreender e ajudar sempre, sem esperar nada em troca.

Ao Professor Mauro Augusto Demarzo, pela orientação, amizade e paciência; por respeitar os meus limites e sempre incentivar a superá-los, por sempre está disposto a ajudar. Aos Professores Vitor Antonio Ducatti, Antonio Ludovico Beraldo, e Gladis Camarini pela colaboração e orientação prestada.

À FAPEMA, pelo apoio financeiro concedido, em especial ao Professor Sofiane Labidi e ao Sr. Albino de Paiva Neto. À Empresa Faber Castell pela matéria-prima gentilmente fornecida.

Aos técnicos e engenheiros do Laboratório de Estruturas e Materiais (LEM), da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Ademir de Almeida, Luciano Passos, José Reinaldo Marçal, Rodolfo Bonamigo e Marcelo Ramos pelas palavras amigas, atenção e auxílio prestado durante os ensaios. À Flávia Vieira do Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas, da Faculdade de Engenharia Agrícola (LEME), pela ajuda na fase inicial dos experimentos deste trabalho.

Aos amigos Laís Ywashima, Marcus Siqueira, Thyna Castro e em especial à Nelma Caires por toda amizade, companheirismo e carinho demonstrado.

Ao meu querido amigo Paulo Sérgio Bardella pela atenção, amizade e ajuda para conclusão deste trabalho.

A todos aqueles que me ajudaram, de uma forma ou de outra, para realização deste trabalho.

E, agradeço, acima de todos, a DEUS, por estar sempre ao meu lado, me apoiando, dando forças e não me deixando nunca desistir dos meus objetivos.

*“Se você espera pelas condições perfeitas, você
nunca irá realizar nada!”*

Eclesiastes 11:4 (BEP)

RESUMO

O presente trabalho se propõe desenvolver uma argamassa para nivelamento de contrapiso modificada com partículas vegetais de *Pinus caribaea* e avaliar suas características físicas e mecânicas. Os resíduos de *Pinus* utilizados são provenientes do processo de fabricação de lápis. Os traços tiveram seu fator água/cimento determinado pela trabalhabilidade. As misturas foram elaboradas com Cimento Portland CPII-E 32, areia, adição de partículas vegetais de *Pinus* e água proporcional ao traço da mistura. Foram avaliadas a resistência à compressão, resistência à tração na flexão e absorção capilar da argamassa modificada com partícula vegetal no estado endurecido.

Palavras - chave: Argamassa – Contrapiso – Partículas Vegetais - *Pinus caribaea*

ABSTRACT

The present work considers to develop a mortar for counter-floor levelling modified with vegetal particles of *Pinus caribaea* and to evaluate its physical and mechanical characteristics. The used residues of *Pinus* are proceeding from the process of manufacture of pencil. The traces had its factor water/cement determined by workability. The mixtures were elaborated with Cement Portland CII-E 32, sand, addition of vegetal particles of pinus and proportional water to the trace of the mixture. It was evaluated the Compressive Strength, Tensile Strength in bending and Hair Absorption of the hard mortar modified with vegetal particle.

Words-key: Mortar – Rough floor - vegetal particles – *Pinus caribaea*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Parede celular primária – células que se dividem ativamente; parede celular secundária – células que tem a função de sustentação e transporte; lamela média – região de união das paredes primárias de células adjacentes (subst, pécticas). FONTE: RAVEN et al., 2001.....	4
Figura 2. Esquema da estrutura da fibra vegetal. FONTE: GRAM (1988) e COUTTS (1992) citados por SAVASTANO JR et al. , 1997.....	5
Figura 3. Micrografia de partícula de <i>Pinus caribaea</i> , onde observa-se a estrutura anatômica da madeira: traqueídes (X1), lúmen (X2) e pontuações (X3) (PIMENTEL, 2005).....	6
Figura 4: Método convencional - piso sobre laje - FIORITO (2003).....	20
Figura 5: Método de colagem - piso sobre laje - FIORITO(2003).....	20
Figura 6: Método de colagem - piso sobre terrapleno - FIORITO (2003).	21
Figura 7. Curva granulométrica - Areia Lavada.....	26
Figura 8. Massa específica por meio do frasco de Chapman.	27
Figura 9. Distribuição em tamanho das partículas de <i>Pinus caribaea</i>	27
Figura 10. Partículas imersas em água por 24 horas e à esquerda sendo ensaiadas no Frasco de Chapman.	28
Figura 11. Tratamento a base de cal: a) material passado na # 4,76 – utilizado; b) PV imersa em solução a base de cal; c) PV secando por 48 horas.	29
Figura 12. Aparelho Ultrasonic Tester BP7.	30
Figura 13. Corpo-de-prova submetido a ensaio de compressão - esquema de atuação axial.	32
Figura 14. Ensaio de tração na flexão dos corpos-de-prova prismáticos, e vista após o ensaio.	33
Figura 15. Ensaio de absorção de água por capilaridade.....	34
Figura 16. Corpos-de-prova sendo rompidos para se observar a altura da penetração de água.....	34
Figura 17. Efeito da adição (%) de partículas naturais de <i>Pinus caribaea</i> na velocidade de propagação da onda ultra-sônica.	37
Figura 18. Efeito da adição (%) de partículas de <i>Pinus caribaea</i> tratadas com cal na velocidade de propagação da onda ultra-sônica.	38
Figura 19. Efeito da adição (%) de partículas de <i>Pinus caribaea</i> ,sem tratamento, com dosagens de 17% a 30%, na velocidade de propagação da onda ultra-sônica.....	39
Figura 20. Efeito da adição (%) de partículas de <i>Pinus caribaea</i> , tratadas com cal, com dosagens de 17% a 30%, na velocidade de propagação da onda ultra-sônica.....	40
Figura 21. Efeito da adição (%) de partículas naturais de <i>Pinus caribaea</i> na velocidade de propagação da onda ultra-sônica – com Traço de 1: 1,25: %PV: 0,6.	41
Figura 22. Efeito da adição (%) de partículas de <i>Pinus caribaea</i> tratadas com cal na velocidade de propagação da onda ultra-sônica – com Traço de 1: 1,25: %PV: 0,6. ..	42
Figura 23. Resultados de resistência à compressão das argamassas de traço T, T1', T2', T3', T4' aos 7 e 28 dias.	45
Figura 24. Resultados de resistência à compressão das argamassas de traço T, T5', T6', T7', T8' aos 7 e 28 dias.	46

Figura 25. Resultados de resistência à compressão das argamassas de traço T, T1, T2, T3, T4 aos 7 e 28 dias.	47
Figura 26. Resultados de resistência à compressão das argamassas de traço T, T5, T6, T7, T8 aos 7 e 28 dias.	48
Figura 27. Resultados de resistência à compressão das argamassas de traço T, T9, T10, T11, T12 aos 7 e 28 dias.	49
Figura 28. Resultados de resistência à compressão das argamassas de traço T, T13, T14, T15, T16 aos 7 e 28 dias.	49
Figura 29. Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão realizado aos 28 dias – corpos-de-prova com adição de PV tratada com cal.	51
Figura 30. Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão realizado aos 28 dias – corpos-de-prova com substituição do traço convencional de areia e adição de PV tratada com cal.	51
Figura 31. Absorção capilar das argamassas aos 7 dias.	53
Figura 32. Absorção capilar das argamassas aos 28 dias.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Influência das características granulométricas das areias nas propriedades das argamassas – Fonte: Sabbatini (1984).....	12
Tabela 2: Classificação do cimento Portland utilizados com maior frequência na construção civil (BARDELLA, 2005)	14
Tabela 3: Propriedades dos estudos da argamassa	16
Tabela 4. Resultados do ensaio de Ultra-som aplicado aos corpos-de-prova cilíndrico – Adição de PV.....	35
Tabela 5. Resultados do ensaio de Ultra-som aplicado aos corpos-de-prova cilíndrico – Adição de PV com substituição do traço convencional de areia (AS).	36
Tabela 6. Resultados do ensaio de Resistência à Compressão Axial aplicados aos corpos-de-prova cilíndricos aos 7 e 28 dias.	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Fibras vegetais.....	4
2.2 Partículas Vegetais de <i>Pinus caribaea</i>	5
2.3 Adição de fibras em argamassas.....	7
2.4 Compósitos.....	7
2.3 Adesão entre partículas vegetais (PV) e cimento.....	8
2.4 Agregados.....	10
2.5 Cimento.....	12
2.6 Argamassas.....	15
2.6.1 Argamassa no estado fresco e estado endurecido.....	16
2.6.2 – Argamassa leve com adição de partículas vegetais.....	18
2.7 Contrapisos.....	18
2.8 Ensaio não destrutivo (ensaio de ultra-som).....	21
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1 MATERIAIS.....	23
3.1.1 Partículas vegetais de <i>Pinus caribaea</i>	23
3.1.2 – Cimento Portland.....	23
3.1.3 – Agregado mineral – Areia média lavada.....	23
3.1.4 - Cal.....	24
3.1.5 – Água.....	24
3.1.6 - Equipamentos.....	24
3.2 MÉTODOS.....	24
3.2.1.1 Agregado Mineral.....	26
3.2.1.2 Partícula Vegetal (<i>Pinus caribaea</i>).....	27
3.2.2.3 Tratamento físico – Lavagem.....	28
3.2.3 Escolha do traço a ser utilizado.....	29
3.2.4 Confecção dos corpos-de-prova.....	29
3.2.5 Ensaio não-destrutivo.....	30
3.2.6 Avaliação das propriedades das AMPV no estado endurecido.....	31
3.2.6.1 Resistência à compressão.....	31
3.5.6.2 Resistência à tração na flexão.....	32
3.5.6.3 Absorção de água por capilaridade.....	33
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	35
4.1 Determinação do traço dos corpos-de-prova.....	35
4.1.1 Ensaio de Ultra-som.....	35
4.2 Avaliação das propriedades das AMPV no estado endurecido.....	43
4.2.1 Resistência à Compressão (MPa).....	43
4.2.2 Resistência à Tração na Flexão (MPa).....	50
4.2.3 Absorção de água por capilaridade.....	52

5. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.....	55
5.1 Esclarecimentos Iniciais	55
5.2 Resultados dos Ensaios com Ultra-som	58
5.3 Resultados dos Ensaios com Compressão Axial	64
6 CONCLUSÃO.....	71
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	73
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
9 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	79

1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional, o crescimento industrial, a urbanização desordenada bem como a poluição e o esgotamento de recursos naturais são alguns dos insumos contribuintes para o surgimento e agravamento das questões ambientais. O modo como estes fatores se desenvolvem vem contribuindo para a destruição progressiva do meio ambiente.

Neste contexto, vale enfatizar que a preocupação com o meio ambiente, focando o eco-desenvolvimento, e com o desenvolvimento sustentável é bem mais que um movimento intelectual efêmero; demonstram a preocupação com as gerações futuras, uma vez que o que está em pauta é a sua sobrevivência. Junto aos problemas das questões ambientais, vem como agente amenizador a implementação do conceito de desenvolvimento sustentável; que tem sido indicado maciçamente como a solução mais racional e satisfatória para gerar uma maior qualidade de vida.

Sustentabilidade é a forma e qualidade de manutenção do modo de vida. Desta maneira, tópicos como biodiversidade, poluição, exploração de recursos naturais renováveis ou não estão relacionados, tanto para estudo quanto para implementação de soluções, à inovações tecnológicas dentre outras questões.

Analisando o conceito de sustentabilidade, convém admitir que tal assunto é bem mais que avaliar a necessidade humana de bem-estar fisiológico e emocional. Assim, o desenvolvimento sustentável deve buscar saciar as necessidades individuais e coletivas atuais sem gerar perdas às gerações futuras.

A natureza é organizada sob forma de ciclos de reciclagem que auxiliam a sua sustentabilidade, porém a produção desenfreada e ascendente de resíduos, bem como outros fatores causados pelo homem, tem colocado em cheque o funcionamento destes. A alternativa de reciclagem dos resíduos de origem vegetal, como trigo, palha de arroz e fibras vegetais variadas, na confecção de tijolos não-cozidos de barro, tem registros na pré-história. Desenvolvendo-se até

os dias de hoje sob a forma de materiais com características de compósitos, que consiste em uma mistura de materiais objetivando a melhoria de suas propriedades em relação àquelas individuais quando consideradas isoladas.

A falsa concepção de que uma construção para ser sustentável precisa ser necessariamente cara vem sendo modificada, provando que é possível ter atitudes ambientalmente corretas. A grande prova é a quantidade significativa de pesquisas por produtos ecológicos, cujo custo é razoavelmente inferior se comparado a produtos convencionais.

De acordo com Beraldo (1997a), na década de 1930 iniciou-se a produção de produtos à base de cimento e madeira, sob forma de painéis leves de magnesita e madeira. Nos últimos 40 anos, a tecnologia para uso de resíduo de madeira com aglomerantes minerais desenvolveu-se de forma menos intensa em relação ao uso de aglomerantes orgânicos com estes mesmos resíduos.

O bioconcreto é um exemplo de produção de material ecológico, consistindo em uma espécie de concreto leve (sem função estrutural) desenvolvido a partir de princípios tradicionais, composto por mistura de cimento e areia com adição de partículas de madeira, bambu, bagaço de cana, resíduos agrícolas ou casca de arroz. Tal produto pode ser utilizado na fabricação de telhas onduladas, de pisos e ainda como contrapiso dentre tantas funções.

Devem-se levar em consideração, no que diz respeito à produção de compósitos à base de partículas vegetais e cimento, as propriedades da matéria-prima utilizada e a compatibilidade química entre o resíduo vegetal e o cimento. É desejável, que a mistura dos dois, alcance a trabalhabilidade almejada a que se destina, apresentando características similares ao produto disponível no mercado.

Este trabalho se propõe a contribuir com uma melhor compreensão da técnica construtiva acima exposta e apresentar características da biomassa vegetal de *Pinus caribaea* adicionada à matriz cimentícia como contrapiso, avaliando suas principais propriedades físicas e mecânicas.

1.1 JUSTIFICATIVA

A indústria de base florestal é uma grande geradora de resíduos sólidos. A maioria dessas empresas se desfaz dos restos de madeira caracterizando-os como dejetos industriais. Em contrapartida, a indústria de reciclagem vem apostando maciçamente no potencial dessa matéria-prima descartada. O aproveitamento de materiais não-convencionais é cada vez mais frequente em projetos de engenharia, devido à facilidade de uso e ao custo reduzido, por se tratar de uma matéria-prima abundante e barata. Tal uso, de biomassa vegetal, na produção de materiais alternativos, vem proporcionando soluções boas e prósperas para a construção civil. Deste modo o material aqui apresentado se propõe como alternativa de substituição da argamassa tradicional utilizada em contrapiso.

1.2 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho foi definir procedimentos para determinar e avaliar o comportamento de contrapisos à base de argamassas de cimento CP II E - 32 modificadas com partículas vegetais de *Pinus caribaea* e suas principais propriedades físicas e mecânicas. Foram testadas diferentes misturas de cimento e de biomassa vegetal, buscando otimizar o teor das partículas vegetais.

Como objetivo secundário pretende-se:

- Caracterização da AMPV (Argamassa modificada por partículas vegetais) no estado fresco e endurecido, avaliando seu comportamento em relação à argamassa comum.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fibras vegetais

As fibras vegetais são formadas por células individuais unidas por uma membrana, denominada lamela média. Sobre este aglomerado estão as microfibrilas de celulose formando a parede primária que acompanha o crescimento da célula durante sua diferenciação.

Após este processo, as microfibrilas de celulose juntam-se à lamela média (Figura 1) constituindo a parede secundária da célula: a S1, de estrutura reticulada como a primária; S2, com maior espessura e teor de celulose; S3, semelhante à S2, apresentando microfibrilas em forma de espiral (BURGER et al., 1986).

A lamela intercelular é constituída de pectina, hemicelulose e principalmente lignina, tendo o processo de lignificação mais intensificado na lamela média e na parede primária. A região central da fibra pode apresentar uma cavidade denominada lacuna, que é responsável pela sua alta capacidade de absorção d'água (Figura 2).

Estrutura detalhada de uma Parede Celular



Figura 1: Parede celular primária – células que se dividem ativamente; parede celular secundária – células que tem a função de sustentação e transporte; lamela média – região de união das paredes primárias de células adjacentes (subst. pécnicas). FONTE: RAVEN et al., 2001.

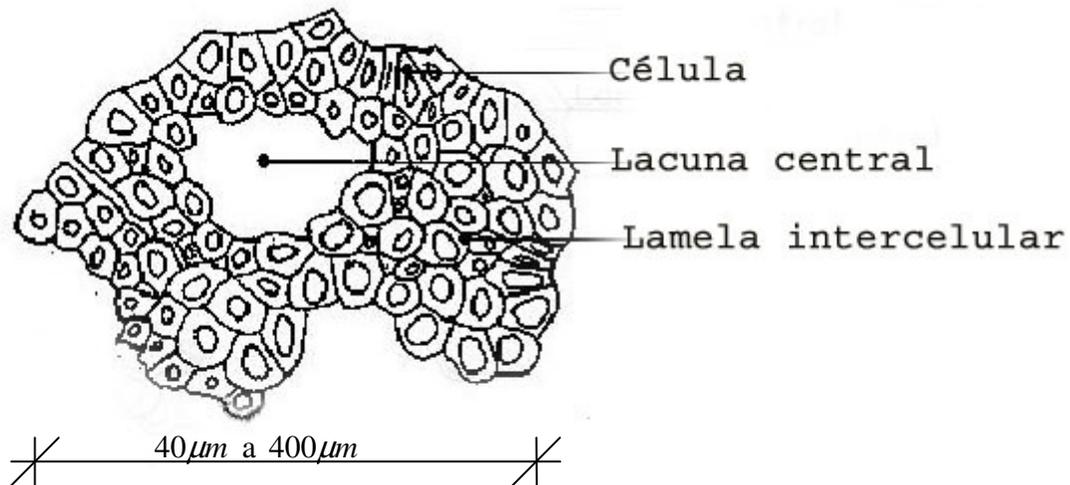


Figura 2. Esquema da estrutura da fibra vegetal. FONTE: GRAM (1988) e COUTTS (1992) citados por SAVASTANO JR et al. , 1997.

As fibras podem ser provenientes de folhas, de talos, de superfície e de lenho; como exemplos destes têm-se o sisal, a piaçava, algodão e madeiras de reflorestamentos respectivamente. Esta última subdivide-se sob forma de uso em partículas (confeção de painéis prensados) e em polpa (produção de papel e substituição parcial do amianto em alguns países).

Citado por Agopyan (1991), Davies (1981) afirmou que fibras provenientes do lenho, através de processos químicos, têm comportamento mais estável e homogêneo se comparado a fibras provenientes de outras partes da árvore.

2.2 Partículas Vegetais de *Pinus caribaea*

O gênero *Pinus*, da família das *Pinaceae*, é formado por plantas lenhosas, em geral com altura variando entre 3 e 50 m. As plantas têm tronco reto, mais ou menos cilíndrico e copa em forma de cone. Sua madeira apresenta massa específica que varia de 400 a 520 kg /m³, a 15% de umidade (LIMA et al. ,1988). A Figura 3 apresenta a micrografia de partículas de *Pinus caribaea*.

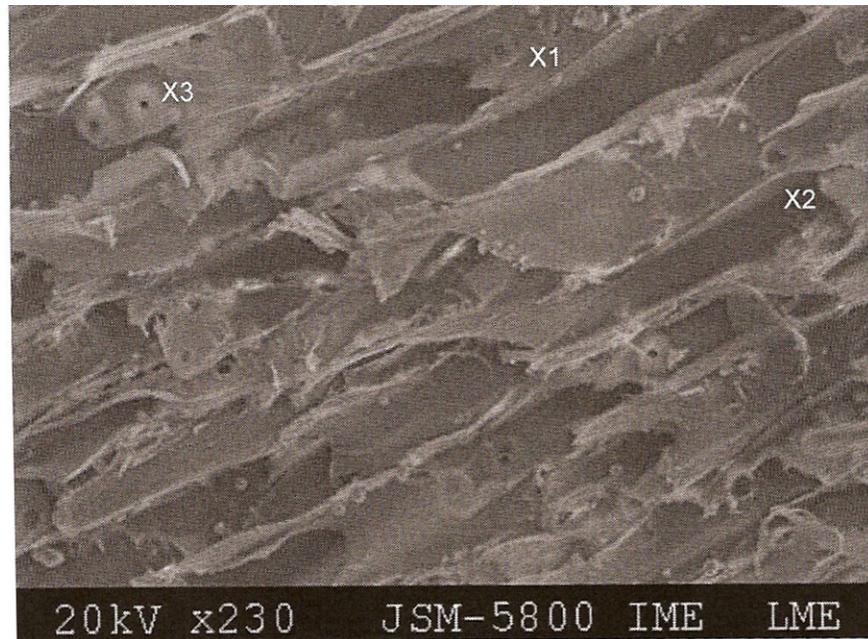


Figura 3. Micrografia de partícula de *Pinus caribaea*, onde observa-se a estrutura anatômica da madeira: traqueídes (X1), lúmen (X2) e pontuações (X3) (PIMENTEL, 2005).

As madeiras do gênero *Pinus* são consideradas um material bom para a produção de celulose e com características mecânicas satisfatórias para seu beneficiamento em serrarias. Dentre as espécies de *Pinus*, o *Pinus caribaea* var. *caribaea* é a mais adequada para o processamento mecânico por apresentar fuste reto e galhos finos e curtos (PIMENTEL, 2000).

A Empresa Faber Castell possui uma área destinada ao reflorestamento da espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com uma área de 6 mil hectares situadas em Prata – MG. Do processo de fabricação de lápis são gerados dois tipos de resíduo de *Pinus*: as partículas vegetais naturais sem tratamento e as partículas vegetais parafinadas, com quantidade estimada em 2 mil toneladas em São Carlos -SP ao mês, e 160 mil toneladas em Prata – MG, respectivamente.

Esta grande quantidade de resíduos vem sendo reaproveitada em granjas, como cama para aves (em Prata - MG) e na fabricação de lenhas ecológicas para gerar energia (São Carlos – SP). Ainda assim há grandes sobras deste material.

2.3 Adição de fibras em argamassas

A adição de fibras, naturais ou artificiais, cuja finalidade é a melhoria das argamassas a base de cimento e concretos, vem evoluindo com o passar do tempo, conseguindo um avanço significativo no que diz respeito à resistência à tração do compósito.

Fibras artificiais (metálicas, poliméricas e minerais) e naturais (vegetais) tem sido adicionadas a matrizes cimentícias e conseguido mudanças consideráveis no comportamento do material. Estes compósitos têm como características uma maior ductilidade, maior tenacidade e maior resistência a impactos.

Dois são as formas de uso das fibras naturais. A primeira consiste no uso de fibras curtas, sob forma de agregado extra, misturado de forma aleatória, como se a PV (partícula vegetal) fosse um componente a mais no concreto, sendo este o procedimento mais difundido em vários países. A segunda forma é a utilização de fibras longas dispostas manualmente em moldes, tendo suas camadas intercaladas com argamassa (PIMENTEL, 2005).

2.4 Compósitos

Compósitos são materiais formados a partir da união de outros materiais com a finalidade de produzir um novo material com propriedades superiores às dos seus componentes, isoladamente. Em função de suas características, tais como baixa massa específica, isolamento térmico, isolamento acústico, isolamento ao fogo, resistência mecânica, os compósitos de biomassa vegetal e cimento podem ser utilizados para fabricação de revestimentos, forros, pisos, painéis, blocos não-estruturais, dentre outros. Compósitos de cimento-madeira são formados por partículas vegetais, cimento e água, e algumas vezes podem receber o acréscimo de aditivos químicos cujo objetivo é acelerar o processo de pega do cimento e excluir os efeitos indesejáveis das substâncias da madeira.

Os compósitos provenientes de argamassas e concretos recebem fibras e partículas que podem ser de metal ferroso, ou não, fibras minerais, fibras sintéticas (polietileno) e de biomassa vegetal.

Pesquisadores têm conseguido maior êxito no desenvolvimento de compósitos a partir de fibras minerais do que com fibras vegetais. Este resultado deve-se à complexidade da microestrutura da madeira e sua grande variedade. As pesquisas com partículas vegetais, embora em menor número, vem conquistando seu espaço e mostrando seu valor.

DOS ANJOS, GHAVAMI e BARBOSA (2003) desenvolveram compósitos de cimento reforçados com polpa de bambu. Os melhores resultados foram encontrados em compósitos obtidos a partir de fibras refinadas, com melhoramentos consideráveis nas propriedades mecânicas a um teor de 8%.

Em compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais, para que aconteça um bom envolvimento da partícula pelo cimento, é necessária uma distribuição uniforme da mesma gerando assim valores satisfatórios de resistência mecânica (COUTTS & WARDEN, 1988).

Citado por Latorraca (2000), Dix (1989) mostrou vários usos dos painéis de cimento-madeira, podendo ser utilizado como paredes de casas pré-fabricadas, bancadas, pisos, divisórias, isolantes térmico e acústico, portas corta-fogo, forros, dentre outros.

2.3 Adesão entre partículas vegetais (PV) e cimento

A adesão entre PV e cimento em compósitos ocorre de forma física, química, e ainda pela combinação das duas (LATORRACA, 2000). A adesão física dá-se através da ligação interfacial das partículas da madeira com o cimento, e a adesão química por meio de pontes de hidrogênio.

Hachmi & Campbell (1989) afirmaram que o processo de desenvolvimento da união entre PV e cimento pode ser dividido em três estados: físico, físico-químico e químico.

O estado químico compreende a fase em que a união dos materiais apresenta grande mobilidade, diminuindo com o tempo; o estado físico-químico corresponde ao envolvimento da PV pela matriz cristalizada do cimento; e por fim, o estado físico que pode se estender por anos.

A adesão entre PV e cimento pode sofrer interferência de açúcares presentes nas partículas da madeira, afetando a união entre os materiais e a qualidade do produto final obtido. Segundo Hachmi & Campbell (1989), a quantidade de lignina e hemicelulose varia de espécie para espécie. A presença de substâncias químicas, como açúcares, pode retardar ou mesmo inibir a pega do cimento.

A biomassa vegetal e o cimento apresentam características e propriedades que criam incompatibilidade entre os dois, e, portanto, devem ser analisadas (BERALDO, 1996).

Existem diversos tratamentos físicos e químicos para melhorar a compatibilidade madeira-cimento, os quais são relatados em trabalhos de diferentes autores. Os métodos de tratamentos citados são: lavagem, torrefação, pulverização e impregnação. Uma das finalidades destes métodos é diminuir a interferência dos extrativos e açúcares nas reações de pega e endurecimento, melhorando a qualidade do compósito.

Beraldo (1997a) citou a curva de hidratação e o comportamento do compósito quando submetido a ensaios destrutivos ou não-destrutivos como formas de avaliar a compatibilidade entre cimento e biomassa vegetal; como método de tratamento de partículas vegetais usou:

- ✓ Lavagem em água fria (imersão por 24 h);
- ✓ Lavagem em água quente (2 h a 80°C);
- ✓ Imersão em solução a 5% de cal (imersão por 24 h);
- ✓ Imersão em solução a 5% de soda cáustica (imersão por 24 h).

Beraldo & Vieira (2003) utilizaram todos os tratamentos citados em Beraldo (1997a) e concluíram que o uso de água fria seria o mais indicado para as fibras de sisal, pois não existiria gasto de energia e nem geraria resíduos. Pimentel (2003) utilizou água quente para lavagens de partículas de *Pinus caribaea* baseado em metodologia indicada por Beraldo et al. (1996), a qual consistiu em imersão das partículas em água quente, submetido a temperatura de 80 °C, por um

período de 1 hora, seguido de lavagem em água corrente e secagem das partículas ao ar livre. Stancato (2006) utilizou metodologia recomendada por Beraldo et al. (2002), onde tratou partículas de *Eucalyptus grandis* e do *Pinus caribaea* com a imersão em solução aquosa de 5% de cal em relação à massa de resíduo.

2.4 Agregados

De acordo com Bauer (1987 apud GRANDI, 1995) agregado é uma mistura de grãos irregulares e de tamanhos variados. Os agregados, finos ou grossos, usualmente utilizados em contrapisos convencionais, podem ser usados também em contrapisos modificados com partículas vegetais.

Na construção civil brasileira, o conceito de “agregado” está relacionado a um material utilizado geralmente na produção de argamassas e concretos de cimento Portland ou concreto asfáltico.

O agregado para a construção civil, que pode apresentar características morfológicas distintas, é importante para produção de argamassas, pois aumenta a resistência ao desgaste e é economicamente viável, uma vez que é mais barato que o cimento.

O consumo de agregados é um indicador do crescimento econômico de uma nação. Enquanto países como os E.U.A. consomem 7,5 t/hab/ano de agregados, a Europa Ocidental consome de 5 a 8t/hab/ano e o Brasil não atinge nem 2 t/hab/ano. No Brasil, 90% da areia provêm de leitos de rio. No Estado de São Paulo, a areia produzida tem 45% originária de várzeas, 35% de leitos de rios e, o restante, de outras fontes (VALVERDE, 2001).

A forma e a área específica das areias influenciam nas propriedades das argamassas. A trabalhabilidade pode ser afetada pela presença de agregados com forma alongada ou lamelar por estas apresentarem área específica maior do que os agregados com formas regulares.

De acordo com a NBR 7389/ 1992, a textura das partículas do agregado pode ser classificada em: polida, fosca ou rugosa. Aspectos característicos, como o teor de umidade e o

inchamento do agregado, estão relacionados, uma vez que, para medir agregados em volume na produção de argamassas, seu volume sofre variação devido ao inchamento do agregado miúdo.

Quanto à granulometria, o agregado miúdo pode subdividir-se em quatro zonas: muito fina, fina, média e grossa (NBR 7211/2005). A granulometria do agregado é fator determinante na qualidade e custo do produto final, porém o aspecto inferior de um agregado não deve ser pré-requisito para o não uso do mesmo; sendo mais indicado o estudo da argamassa feita com a areia disponível e em seguida a avaliação do desempenho da mesma para o fim a que se destina.

O desempenho da argamassa é diretamente influenciado pela distribuição granulométrica da areia, interferindo na trabalhabilidade e no consumo de água e aglomerantes no estado fresco (ANGELIM et al., 2003).

De acordo com Cincotto e Carneiro (1999), o desenvolvimento de curvas granulométricas de argamassas com a finalidade de avaliar a influência do agregado nas suas propriedades foram embasados por estudos realizados por Fuller e Trompson (1907), Furnas(1931) e Anderegg (1931). Nestes trabalhos a dosagem do aglomerante e do agregado foi realizada a partir da curva.

É ainda no estado fresco da argamassa que se observa à influência granulométrica. A areia forma vazios entre os grãos, que também é responsável parcialmente pela retenção de água. No estado endurecido da argamassa, a areia minimiza as tensões geradas pelo endurecimento do aglomerante. Desta maneira, a continuidade granulométrica da areia proporciona uma diminuição dos vazios entre os grãos, diminuindo a permeabilidade, e contribuindo para o melhoramento da resistência mecânica e módulo de elasticidade (CINCOTTO e CARNEIRO, 1999).

Em estudo realizado por Bastos et al. (1999), foi mostrado que a absorção capilar em argamassas de mesma consistência foi pouco influenciada pela granulometria da areia. Nas primeiras idades, esta propriedade é dependente da relação água/cimento; o coeficiente de absorção prossegue diminuindo até os 90 dias em função da hidratação do cimento Portland que com a dimensão capilar na argamassa, tem a diminuição da quantidade de poros.

Sabbatini (1984) avaliou a influência das dimensões, distribuição e morfologia dos grãos relacionados a algumas características de argamassas, melhor descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Influência das características granulométricas das areias nas propriedades das argamassas – Fonte: Sabbatini (1984).

PROPRIEDADES	QUANTO MENOR MÓDULO DE FINURA	QUANTO MAIS DESCONTÍNUA FOR A GRANULOMETRIA	QUANTO MAIOR FOR O TEOR DE GRÃO ANGULOSOS
TRABALHABILIDADE	Melhor	Pior	Pior
RETENÇÃO DE ÁGUA	Melhor	Variável	Aumenta
RESILIÊNCIA	Variável	Pior	Pior
RETRAÇÃO NA SECAGEM	Aumenta	Aumenta	Variável
POROSIDADE	Variável	Aumenta	Variável
ADERÊNCIA RESISTÊNCIAS	Pior	Pior	Melhor
MECÂNICAS	Variável	Pior	Variável
IMPERMEABILIDADE	Pior	Pior	Variável

Um contrapiso precisa apresentar boas condições superficiais, o que vai lhe conferir uma boa aderência piso-revestimento; uma boa resistência mecânica, capacidade de absorver deformações e resistir eventuais esmagamentos; e ter durabilidade. Assim, para contrapisos, as melhores características da areia para compor a mistura são as que apresentem maior módulo de finura, granulometria contínua e maior teor de grãos angulosos.

2.5 Cimento

O cimento por definição consiste em uma substância em pó usada como aglomerante e que umedecida se emprega em estado plástico, sofrendo endurecimento posterior através de reação química causada pelo contato com a água, endurecendo posteriormente. O cimento Portland é um aglomerante hidráulico proveniente da moagem do clínquer Portland com gipsita, material carbonático, cinza volante e escória granulada de alto-forno (NBR 5732/1991).

Quanto à sua fabricação, as argilas e xistos argilosos são os componentes preferenciais como fontes suplementares de sílica para formação de silicatos de cálcio quando fundidos com o CaCO_3 . MgCO_3 . O calcário é a principal matéria prima; após a moagem é misturado homogeneamente à argila e levado ao forno, cuja temperatura chega a $1450\text{ }^\circ\text{C}$, em que libera CO_2 , que combinado aos óxidos minerais da argila conclui um processo denominado calcinação. Após esta etapa, o produto, denominado clínquer, sofre um resfriamento brusco e é, então, moído e transformado em pó.

O cimento Portland, é obtido por meio da calcinação em temperatura elevada de matérias-primas minerais resultando no clínquer Portland que é moído com gipsita (sulfato de cálcio bi-hidratado – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e outros minerais, esta composição tem como resultado os principais tipos de cimento Portland disponíveis no mercado.

O uso de cimentos de diferentes classes de resistência produz argamassas com resistências mecânicas variáveis e conseqüentemente têm suas propriedades alteradas, segundo Sabbatini (1984). Tipos diferentes de cimento influenciam nas propriedades das argamassas de cimento, cal e areia por apresentarem características individuais. As classes de cimento Portland, especificadas pela ABNT, estão descritas na Tabela 2.

**Tabela 2: Classificação do cimento Portland utilizados com maior frequência na construção civil
(BARDELLA, 2005)**

Tipo de cimento	Clinker + Gipsita (%)	Escória de Alto forno (%)	Material Pozolânico (%)	Material Carbonático (%)	Norma Brasileira
CP I	100	-	-	-	NBR 5732
CP I-S	99 – 95	-	-	1 – 5	NBR 5732
CP II - E	94 - 56	6 - 34	-	0 - 10	NBR 11578
CP II - Z	94 – 76	-	6 - 14	0 – 10	NBR 11578
CP II – F	94 - 90	-	-	6 – 10	NBR 11578
CP III	65 - 25	35 - 70	-	0 – 5	NBR 5735
CP IV	85 – 45	-	15 - 50	0 – 5	NBR 5736
CP V ARI	100 - 95	-	-	0 - 5	NBR 5733

Latorraca (2000) realizou pesquisa buscando o tipo de cimento mais adequado para confecção de chapas cimento-madeira usando quatro tipos de cimento Portland. Levou em consideração a influência do cimento sobre temperatura, o tempo de hidratação do compósito e a resistência à compressão axial do cimento Portland comum, e concluiu que o tipo de cimento mais indicado para fabricação de placas é o Portland ARI (Alta Resistência Inicial) por responder melhor às propriedades estudadas.

Grandi (1995) utilizou cimento Portland CP V-ARI como aglomerante na fabricação de placas pré-moldadas de pó-de-serra. O autor adotou o processo de argamassa vibrada sobre base porosa sem aplicação de aditivos na mistura, reduzindo o custo do processo de produção. O cimento utilizado, de pega rápida, proporcionou uma rápida desforma do produto, diminuindo o tempo de fabricação.

Swamy (1990) afirmou que matrizes cimentícias reforçadas com fibras, sejam elas curtas ou longas, em feixes ou individuais, estimulam a pesquisa de novos materiais de construção.

2.6 Argamassas

Argamassa é a mistura de aglomerantes e agregados com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência (NBR 7200/98).

As argamassas usadas em obras são geralmente compostas por areia natural lavada; cimento Portland e a cal hidratada como aglomerante, que vai determinar sua denominação. Argamassas de cimento são utilizadas em alicerces, chapiscos, em revestimentos e pisos por sua maior resistência no estado endurecido, resistência em curto prazo, e resistência mecânica e ao desgaste, respectivamente. Argamassas de cal são utilizadas para emboço e reboco em função de sua trabalhabilidade, plasticidade e elasticidade (FIORITO, 2003).

Fiorito (2003) afirmou, ainda, que as argamassas de cimento apresentam maior resistência, mas são de difícil trabalhabilidade, podendo-se adicionar cal para aumentar a plasticidade e facilitar o seu acabamento. A argamassa mista pode ser usada de várias formas, em contrapisos, assentamento de revestimento de piso e parede.

Citado por Stancato (2000), Ryder (1963) indicou a divisão das propriedades das argamassas em três grupos: argamassa no estado fresco; argamassa no estado endurecido; argamassa no estado endurecido aplicada sobre substrato. A avaliação destas propriedades irá servir como padrão para indicar as características desta argamassa, tais como a qualidade, aplicação e desempenho. A Tabela 3 cita as propriedades correspondentes ao estado da argamassa.

Tabela 3: Propriedades dos estudos da argamassa

Argamassa no estado fresco	Argamassa no estado endurecido	Argamassa no estado endurecido aplicada sobre substrato
Plasticidade	Resistência à compressão	Resistência de aderência à tração
Consistência	Resistência à tração	Resistência de aderência ao cisalhamento
Capacidade de retenção de água e de retenção de consistência	Módulo de elasticidade	Permeabilidade à água
Massa específica e teor de ar incorporado	Retração por secagem	Resistência de aderência à abrasão
Exsudação	Absorção de água por capilaridade	Resistência superficial
	Permeabilidade à água	Resistência ao impacto
Trabalhabilidade	Resistência química	Durabilidade

2.6.1 Argamassa no estado fresco e estado endurecido

Citado por Stancato (2000), Ioshimoto et al. (1988) afirmou que as argamassas se diferenciam por apresentarem características plásticas e adesivas, desenvolvendo, após um período de tempo, resistência e rigidez de acordo com a sua composição.

Quanto à retenção de água e consistência, a retenção diz respeito à capacidade que a argamassa tem de conservar a água utilizada no preparo do substrato diminuindo a sucção da base e evaporação deste líquido. Essa propriedade permite que as reações de endurecimento sejam gradativas, sem interferir de forma negativa na aderência, durabilidade, estanqueidade, e proporcionando conseqüentemente uma boa resistência mecânica.

Massa específica é a relação entre a massa da argamassa e o seu volume, podendo ser absoluta ou relativa, também denominada de unitária. A massa relativa, ao contrário da absoluta, leva em consideração os vazios existentes para a determinação da massa específica. Quanto maior o crescimento do teor de ar incorporado menor o valor da massa específica unitária (MACIEL et al., 1998).

Grandi (1995), para a fabricação de placas pré-moldadas de cimento, utilizou pó-de-serra. Ensaios de granulometria, inchamento do pó, compactação da argamassa, relação água-cimento em função da trabalhabilidade e massa específica foram realizados e indicaram que a massa específica e o comportamento geral do material estavam diretamente ligados ao traço da argamassa, às dimensões das partículas e à composição granulométrica do pó-de-serra utilizado.

O teor de ar incorporado maior e um valor menor de massa específica em uma argamassa melhoram a trabalhabilidade da mesma. Simatupang et al. (1991) afirmaram que a resistência dos painéis de cimento-madeira é muito influenciada pela presença de poros; desta forma, a quantidade de água a ser adicionada deve ser mantida em níveis mínimos. Assim como ocorre com o concreto, os painéis de cimento-madeira têm sua resistência variando de acordo com o teor de água.

A exsudação da água em concreto ou argamassa é o fenômeno que gera um movimento ascendente ocasionando a formação de micro-canais por onde a água tende a migrar para a superfície por meio destes no estado fresco, compactado ou sem compactação. Sua trabalhabilidade pode ser comprometida, devido à tendência da água em se separar da argamassa no estado fresco, sendo necessárias várias re-misturas durante a aplicação, podendo afetar também as propriedades da argamassa no estado endurecido.

Estudando as propriedades físicas e mecânicas de chapas de cimento e biomassa vegetal, Lee (1985) concluiu que estas são estáveis dimensionalmente, pois as chapas possuem muitos poros que facilitam a expansão interna, e a camada de cimento que envolve as partículas impede a expansão da madeira.

A trabalhabilidade é uma propriedade extremamente relacionada ao desempenho de outras propriedades. Segundo Maciel et al. (1998), trata-se de uma propriedade qualitativa considerada trabalhável quando: deixa penetrar facilmente a colher de pedreiro, sem ser fluida; mantém - se unida entre si ao ser transportada e facilidade ao ser lançada; apresenta facilidade ao ser distribuída na base, preenchendo todas as suas reentrâncias, e, por fim, não endurece rapidamente ao ser aplicada.

As propriedades da argamassa no estado endurecido se referem à capacidade desta em apresentar resistência mecânica a esforços de tensões, compressão ou cisalhamento; devido à abrasão superficial, ao impacto e à contração termo-higroscópica. De acordo com MACIEL et al. (1998), a resistência mecânica tem aumento quando a quantidade de agregado na argamassa diminui, e apresenta diminuição na resistência mecânica se houver aumento na quantidade de água.

De acordo com Neville (1997), a maioria das propriedades mecânicas do cimento depende mais da estrutura física dos produtos de hidratação do que da composição química do cimento.

2.6.2 – Argamassa leve com adição de partículas vegetais

O reaproveitamento de resíduos vegetais sob forma de compósito de base cimentícia e partículas vegetais é de grande valor para a construção civil, uma vez que este apresenta baixa massa específica, o que propicia redução de gastos com fundação e estrutura; alta Tenacidade, o que lhe confere capacidade de suportar grandes deformações pós-fissuração; e ainda apresenta bom comportamento como isolante termo-acústico.

Grandi (1997) afirmou que a argamassa leve com adição de partículas vegetais é feita a partir de mistura simples de cimento Portland, agregado vegetal e água. Pode ser utilizada, também, como camada regularizadora de contrapisos, enchimentos de lajes e argamassas para revestimentos. As partículas vegetais apresentam características dinâmicas, pois o conhecimento de suas propriedades ajuda a determinar índices físicos e mecânicos da argamassa.

2.7 Contrapisos

O contrapiso é uma camada constituída de cimento e areia, com cerca de três centímetros de espessura, que nivela o piso antes da aplicação do revestimento, garantindo a vida útil do piso e dando resistência e segurança à construção.

Para que um contrapiso atenda a todas essas exigências ele precisa ser executado de forma correta, atendendo a uma espessura mínima, à mistura e traço dos materiais que o constituem e à execução de mão de obra, recomendado pela NBR 7200/98.

Dentro dos padrões técnicos, os contrapisos se dividem em três categorias: Categoria Baixa usada para nivelar terrenos, aplicação de pedra britada ou materiais semelhantes, assentamento de piso com argamassa comum; Categoria Média, e Categoria Alta que são usadas para nivelar terrenos, execução de contrapiso de concreto magro, com impermeabilizante e aplicação do piso cerâmico com argamassa colante, sendo que a Categoria Alta utiliza uma camada a mais de pedra britada.

De acordo com Barros (1991), o piso é constituído por quatro camadas: de impermeabilização, de isolamento termo-acústico, de contrapiso e de revestimento de piso.

Quanto ao isolamento termo-acústico, é importante enfatizar que no Brasil esta é uma prática pouco comum em pisos, mas algumas vezes tem sido utilizado em coberturas (GODOY, 1999). Ainda assim, existem técnicas de aplicação de pisos flutuantes e emprego de matérias que absorvem calor e som.

Fiorito (2003) afirmou que existem muitas maneiras de se construir camadas. Aqui será enfatizado o objeto de estudo do trabalho: o contrapiso.

Pelo método convencional de revestimento de pisos, temos uma camada de argamassa de regularização de contrapiso, como ilustra a Figura 4, que é executada sempre quando há irregularidades da base a serem corrigidas e superiores a 20 mm.

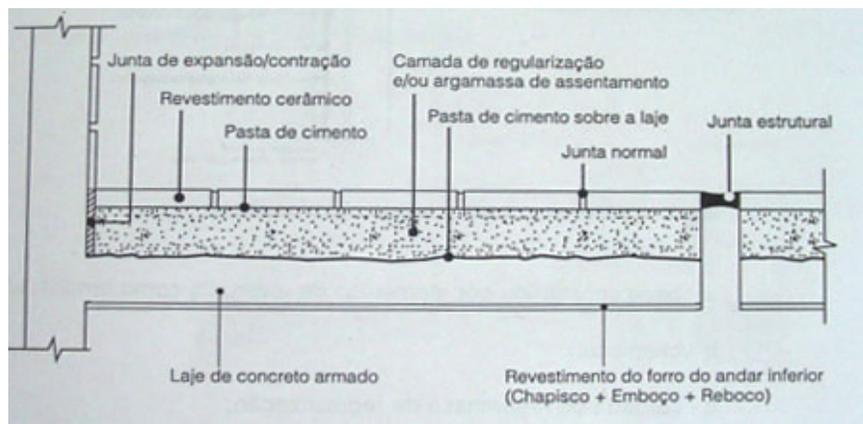


Figura 4: Método convencional - piso sobre laje - FIORITO (2003).

Já, caso se utilize o método de colagem, Fiorito (2003) sugere a aplicação de camada de argamassa colante em cima do contrapiso, tanto em piso sobre laje quanto em piso sobre terrapleno, como ilustram as Figuras 5 e 6.

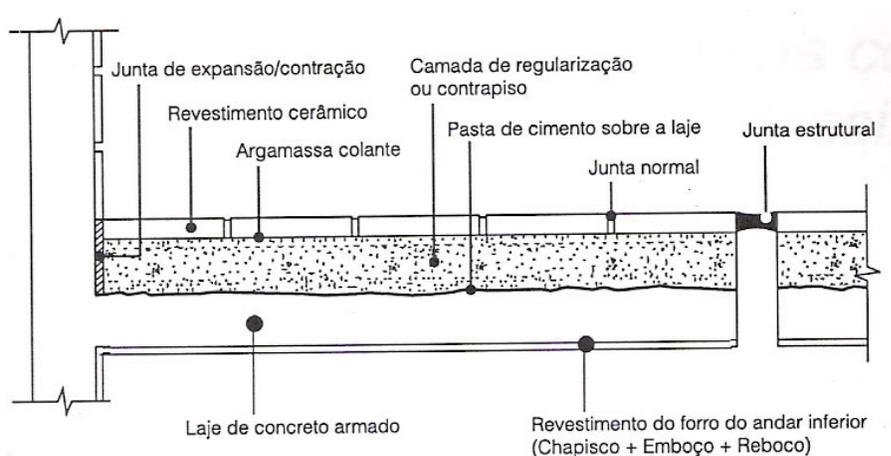


Figura 5: Método de colagem - piso sobre laje - FIORITO(2003).

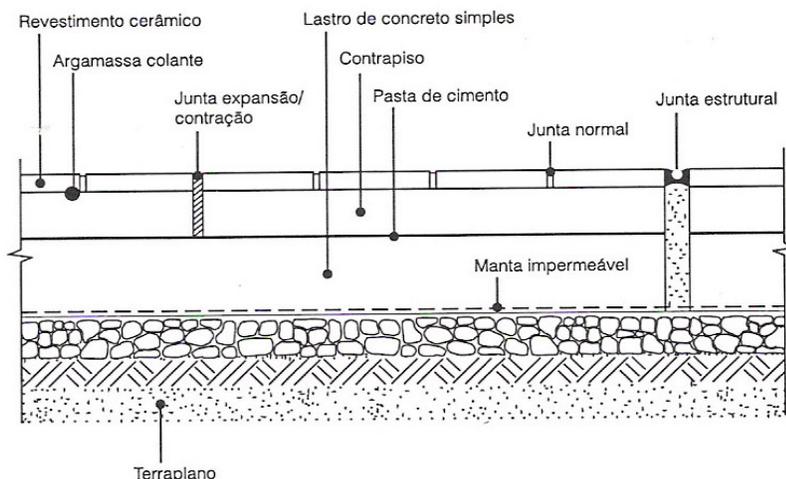


Figura 6: Método de colagem - piso sobre terrapleno - FIORITO (2003).

No contexto de compósitos, surge o *biokreto*, um concreto leve, obtido com a mistura de cimento, areia, partículas de bambu, madeira, bagaço de cana, resíduos agrícolas ou casca de arroz. O *biokreto* pode ser utilizado na fabricação de pavimentos, bancos, telhas onduladas, coletores solares e placas hexagonais, além de servir como contrapiso.

2.8 Ensaio não destrutivo (ensaio de ultra-som)

O uso de técnicas de ultra-som data da década de 50 do último século. Inicialmente foram direcionadas às pesquisas com concreto e, em seguida, aplicadas à madeira para identificação de aspectos de qualidade. A avaliação por meio de ensaios de ultra-som permite identificar a presença de descontinuidades e imperfeições em materiais.

Citada por Pimentel (2004), Ross et al. (1998) definiram a avaliação por meio de ensaio não-destrutivo como sendo a ciência de identificação de propriedades físicas e mecânicas, sem alterar sua capacidade de uso final.

Beraldo (1997b) reportou sobre as vantagens dos métodos não-destrutivos, como o ultra-som, que oferecem avaliação correta da qualidade do material, por meio da medição da velocidade de propagação do som do material, desde a fase inicial.

Zucco (1999), em estudo de aplicação de ensaios de ultra-som na avaliação de compósitos com cascas de arroz, concluiu que não foi encontrada nenhuma correlação entre densidade ou velocidade de propagação da onda ultra-sônica com o módulo de ruptura das placas prensadas submetidas a ensaios de flexão.

Citado por Pimentel (2004), Beraldo (1994) afirmou que o concreto não é um material inerte, considerando os elementos que o constituem, e que as reações químicas permitem o seu endurecimento, podendo influenciar a velocidade ultra-sônica, e, ainda relacionou a influência da velocidade de propagação da onda ultra-sônica com os itens abaixo.

- ✓ Efeito de envelhecimento – A velocidade da onda ultra-sônica e a resistência mecânica aumentam rapidamente nas primeiras horas, estando, portanto, correlacionadas.
- ✓ Influência da relação a/c – Quanto maior a quantidade de água, maior o número de poros, diminuindo a resistência mecânica e a velocidade de propagação da onda sonora.
- ✓ Influência do tipo de cura – o concreto submetido à cura úmida aumenta a hidratação e conseqüentemente a resistência mecânica e a velocidade de propagação da onda sonora do que quando submetido à cura ao ar.
- ✓ Influência dos agregados – a mudança da relação agregado/cimento ou do tipo do agregado pode provocar variação da velocidade da onda ultra-sônica; isto se deve às mudanças na porosidade global em função das modificações sofridas.
- ✓ Influência do tipo de cimento – A velocidade de endurecimento e a resistência final são influenciadas pelas diferentes proporções dos elementos que constituem o cimento.
- ✓ Influência da dosagem do cimento – quanto maior a quantidade de cimento no concreto, maior a resistência.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Objetivando alcançar as metas propostas, foram utilizados os materiais e métodos descritos a seguir.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Partículas vegetais de *Pinus caribaea*

Foram utilizadas partículas vegetais obtidas da madeira de pinus (*Pinus caribaea*). Essas partículas são provenientes dos silos de rejeito da Indústria Faber Castell, da serraria situada na cidade de Prata – MG, e foram obtidas através da filial de São Carlos - SP.

Como não há uma norma específica para agregados de origem vegetal, a composição granulométrica dos resíduos foi feita baseada na norma NBR-7217 da ABNT, que define as frações granulométricas do agregado miúdo.

3.1.2 – Cimento Portland

Foi utilizado o cimento Portland, composto com escória de alto forno, classificação 32 - CPII – E 32, por ser o mais empregado no meio técnico.

3.1.3 – Agregado mineral – Areia média lavada

Os agregados utilizados na execução das amostras são os disponíveis e comumente usados na região de Campinas – SP. Foi utilizada areia média (zona 3) NBR 7217, de rio, de uso comum em argamassas de contrapiso, caracterizadas de acordo com a norma brasileira em vigor.

3.1.4 - Cal

Foi utilizada uma solução aquosa a base de Cal para lavagem das partículas vegetais, de acordo com procedimentos citados por BERALDO (1997a).

3.1.5 – Água

Potável, fornecida pela rede pública da cidade de Campinas-SP.

3.1.6 - Equipamentos

Para realização dos ensaios mecânicos foram disponibilizados equipamentos de dois laboratórios de diferentes Unidades da UNICAMP: Laboratório de Estruturas e Materiais (LEM), da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas, da Faculdade de Engenharia Agrícola (LEME).

Outros materiais e equipamentos laboratoriais: peneiras para análise granulométrica; balança analítica de precisão; Becker; moldes cilíndricos de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura, espátulas, misturador mecânico, câmara úmida, estufa de temperatura regulável. Os materiais e equipamentos estavam disponíveis nos laboratórios acima citados.

3.2 MÉTODOS

O método de busca para levantamento bibliográfico deu-se através da utilização de bases de dados em arquivos digitais e impressos, de acervos da USP e UNICAMP, bem como ICONDA, COMPENDEX e outros acervos de Universidades disponíveis na Internet.

Num primeiro momento, tendo por base o levantamento bibliográfico obtido, buscou-se sintetizar os estudos sobre argamassas comuns e modificadas com partículas vegetais, a tecnologia de execução de contrapisos com argamassas modificadas, bem como os métodos de ensaio para a caracterização e a avaliação do desempenho do material aqui proposto.

Na fase experimental, em laboratório, adotou-se parte da metodologia utilizada por Grandi (1995) e Beraldo (1997a).

A nomenclatura utilizada foi: partícula vegetal (PV), argamassa modificada por partícula vegetal (AMPV), contrapiso de argamassa modificada por partícula vegetal (CAMPV). Para dosagens de partículas vegetais por adição (A), para dosagens de partículas vegetais por adição com substituição de massa de areia(AS);

Nomenclatura adotada para traços, neste trabalho:

- Argamassa comum/ Testemunha (T).

- Percentuais de partículas vegetais sem tratamento (T1' – 5%, T2' - 10%, T3' – 15%, T4' – 20%); assim 1:3: 0,05 - 1:3: 0,10 - 1:3: 0,15 - 1:3: 0,20 respectivamente com fator a/c = 0,6;

- Percentuais de partículas vegetais tratadas com cal (T5' – 5%, T6' - 10%, T7' – 15%, T8' – 20%);

- Percentuais de partículas vegetais sem tratamento, por adição (T1 – 17%, T2 - 20%, T3 – 25%, T4 – 30%); assim 1:3:0,17 - 1:3: 0,20 - 1:3: 0,25 - 1:3: 0,30 respectivamente com fator a/c = 0,6;

- Percentuais de partículas vegetais tratadas com cal por adição (T5 – 17%, T6 - 20%, T7 – 25%, T8 – 30%);

- Percentuais de partículas vegetais sem tratamento, por adição com substituição (T9 – 17%, T10 - 20%, T11 – 25%, T12 – 30%); assim 1:1,25: 0,17 - 1: 1,25: 0,20 - 1: 1,25: 0,25 - 1: 1,25: 0,30 respectivamente com fator a/c = 0,6;

- Percentuais de partículas vegetais tratadas com cal, por adição com substituição (T13 – 17%, T14 - 20%, T15 – 25%, T16 – 30%);

3.2.1 Caracterização física dos materiais

Foram realizados ensaios de caracterização granulométrica (NBR 7217/1987) e massa específica (NBR 9776/1987), do agregado vegetal (partícula vegetal) e do agregado mineral. Após a caracterização o agregado mineral, obteve-se a curva granulométrica, mostrada na Figura 7, que apresenta a areia utilizada, e para a qual se obteve MF 2,55 e DMC 2,4.

3.2.1.1 Agregado Mineral

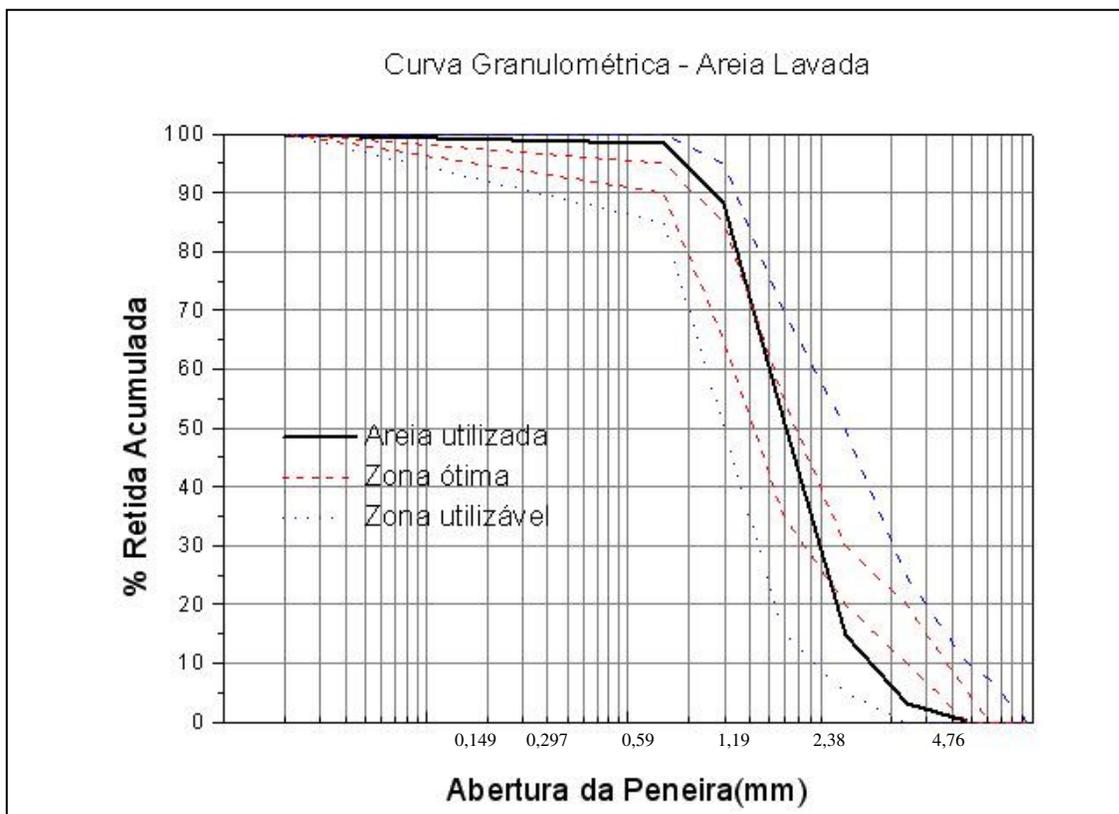


Figura 7. Curva granulométrica - Areia Lavada

Foi realizado ensaio de massa específica por meio do frasco de Chapman (NBR 9776/1987), onde a amostra de areia seca ensaiada, com média de duas repetições, alcançou massa específica de 2,6 g/cm³ (Figura 8). As amostras de areia obtiveram a mesma leitura final (L_f) nas duas repetições do ensaio.



Figura 8. Massa específica por meio do frasco de Chapman.

3.2.1.2 Partícula Vegetal (*Pinus caribaea*)

Foi realizado ensaio de caracterização granulométrica do agregado vegetal utilizado na pesquisa. Os resultados obtidos para distribuição de tamanho estão dispostos na Figura 9.

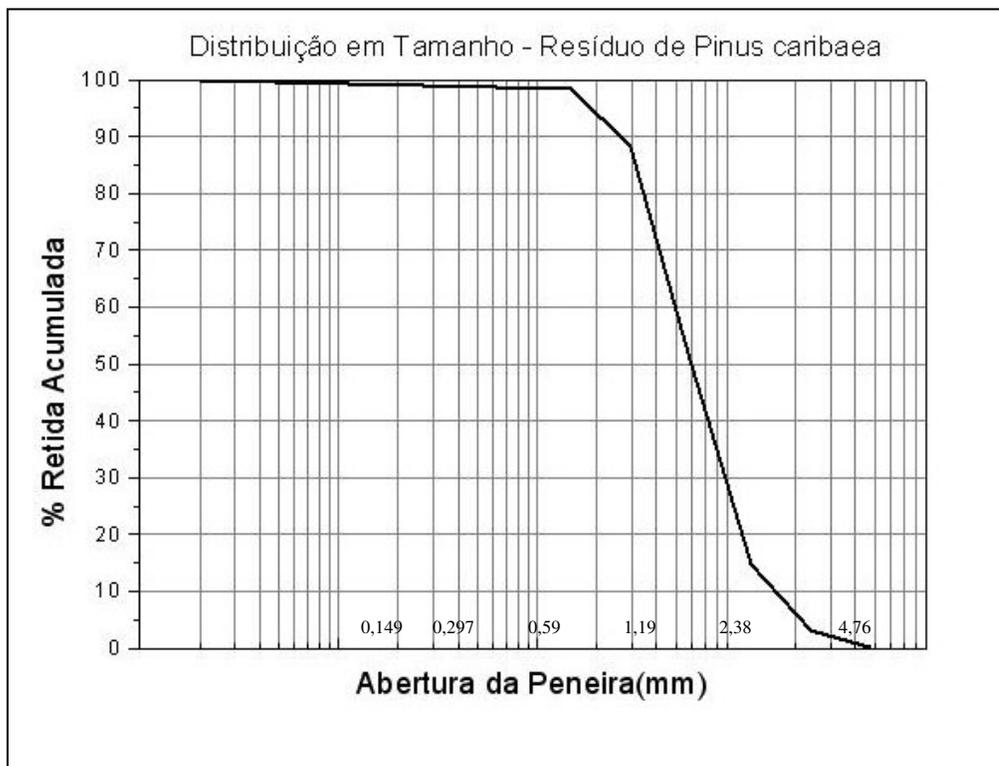


Figura 9. Distribuição em tamanho das partículas de *Pinus caribaea*.

Quanto à mensuração da massa específica das partículas vegetais foi realizado o ensaio a partir de adaptações da (NBR 9776/1987). Num primeiro momento, foi utilizada a partícula vegetal de *Pinus caribaea* no estado natural, com média de duas repetições, e amostras de 200g cada, com resultado de massa específica igual a 1,04 g/cm³. Posteriormente foi realizado o mesmo ensaio, porém com as partículas de *Pinus caribaea* saturadas (Figura 10), ficando imersas em água por 24 horas e depois tendo retirado o excesso de água para então concluir o procedimento. Esta etapa do ensaio também foi feita com média de duas repetições, e amostras inicialmente secas (100g) que após a saturação atingiram 400g e massa específica de 1,72 g/cm³.



Figura 10. Partículas imersas em água por 24 horas e à esquerda sendo ensaiadas no Frasco de Chapman.

3.2.2.3 Tratamento físico – Lavagem

Com a finalidade de eliminar o excesso de extrativos presentes na serragem, utilizada na pesquisa, parte do material foi lavado. Obtendo assim dois tipos de PV a serem empregados inicialmente: Natural e Lavada.

O processo de tratamento adotado foi aquele descrito por Beraldo (1997a) onde as partículas vegetais foram lavadas em solução aquosa à base de cal, ficando imersas por 24 horas, como mostra a Figura 11. Em seguida, foi lavada em água corrente, colocada em estufa de cultura, modelo 002-E da marca FANEN, a 60°C durante 6 horas, e depois colocada para secar ao ar livre durante 48 horas, como ilustrado na Figura 11.



Figura 11. Tratamento a base de cal: a) material passado na # 4,76 – utilizado; b) PV imersa em solução a base de cal; c) PV secando por 48 horas.

3.2.3 Escolha do traço a ser utilizado

Foi tomado como referência, o traço convencional de argamassas 1:3:0,48 (NBR 7215/1996) que serviu de testemunha. Em seguida, foram testados alguns percentuais de PV, em estado natural e tratado com cal. Os primeiros dos corpos-de-prova foram confeccionados com adição de PV ao traço convencional, com percentuais de 5%, 10%, 15% e 20% baseados na literatura existente, calculados em relação à massa de cimento. Para alcançar melhor trabalhabilidade, usou-se $a/c=0,6$.

3.2.4 Confeção dos corpos-de-prova

Com os traços iniciais previamente selecionados, foram moldados os corpos-de-prova, em molde cilíndrico de acordo com a NBR 7215/1996.

Os primeiros corpos-de-prova utilizados nos ensaios foram preparados no Laboratório de Estruturas e Materiais (LEME), da Faculdade de Engenharia Agrícola, do Departamento de Construções Rurais.

O substrato foi feito da seguinte forma: [(água + PV) + areia + cimento]. A proporção de mistura para estes corpos-de-prova foi baseada em estudos realizados por Pimentel (2000).

Os corpos-de-prova foram desmoldados após 24 horas de seu preparo; em seguida, foram pesados e medidos para que obtivessem sua massa específica individual. Foram curados em câmara úmida por 7 dias e posteriormente secos ao ar.

Após os resultados preliminares, optou-se por outra variação nas dosagens de partículas vegetais, uma vez que os traços anteriores apresentaram bom comportamento no ensaio de compressão axial. Foram moldados novos corpos-de-prova com percentuais de 17%, 20%, 25% e 30% de PV em massa que num primeiro momento foram adicionados ao traço 1:3:0,6 (cimento:areia:água); num segundo momento foram adicionados estes mesmos percentuais, porém, substituindo parte da massa de areia (1:1,25: %PV em massa: 0,6), estes novos traços foram desenvolvidos a partir de estudo realizado por Pimentel (2000). Então, foram testadas amostras de PV natural e lavada.

3.2.5 Ensaio não-destrutivo

Os ensaios de ultra-som foram realizados no LEME, da Faculdade de Engenharia Agrícola – Unicamp. Foi utilizado o equipamento de ultra-som, Ultrasonic Tester, modelo BP7, marca STEINKAMP (Figura 12) para a medição do tempo de propagação da onda sonora durante os 28 dias, com transdutores exponenciais de 45 kHz de frequência de ressonância, segundo recomendações de Zucco (1989).



Figura 12. Aparelho Ultrasonic Tester BP7.

Os ensaios de determinação da velocidade de propagação da onda ultra-sônica (km/s) foram baseados na NBR 8802/1994, dividindo-se a distância entre os pontos de acoplamento dos centros da face dos transdutores (em mm) pelo tempo decorrido desde a emissão da onda até sua recepção (em μs).

Foram ensaiados inicialmente corpos-de-prova cilíndricos confeccionados com a adição de percentuais de PV (Natural e tratada com Cal) que variavam de 5% a 20% calculados em relação à massa de cimento. Após os primeiros resultados de velocidade ultra-sônica (medidos longitudinalmente) foram testadas novas dosagens de PV (Natural e tratada com Cal) com percentuais de 17%, 20%, 25% e 30%, que em um primeiro momento foram adicionadas ao traço convencional e posteriormente, também adicionadas, porém reduzindo a massa da areia da proporção de 3 para 2.

3.2.6 Avaliação das propriedades das AMPV no estado endurecido

As propriedades determinantes do comportamento da AMPV, que aqui foram avaliadas, são: resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão, retração hidráulica e absorção capilar.

3.2.6.1 Resistência à compressão

Os ensaios de compressão axial foram realizados no Laboratório de Estruturas, da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - Unicamp. Este ensaio auxiliou no controle de produção das argamassas, avaliando melhor suas características.

Nos ensaios de resistência à compressão, utilizou-se o método de acordo com as Normas NBR 7215/1996 e NBR 6156/1983 para determinação de seus valores. Os corpos-de-prova foram submetidos a esforços de compressão axial até a sua ruptura aos 7 e 28 dias, com média de 3 repetições, em prensa hidráulica SOILTEST, marca VERSA TEST (Figura 13). O cálculo da resistência à compressão, em megapascals (MPa), de cada corpo-de-prova, foi feito dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova.

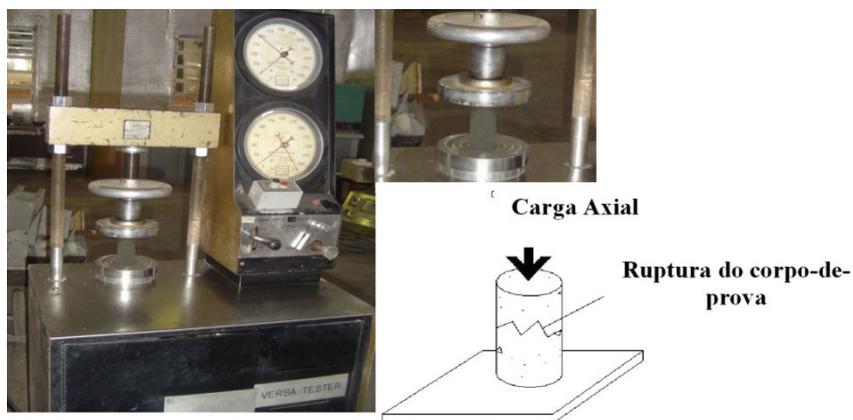


Figura 13. Corpo-de-prova submetido a ensaio de compressão - esquema de atuação axial.

3.5.6.2 Resistência à tração na flexão

Este ensaio seguiu o procedimento da NF EM 196, citado por Godoy (1999) e ASTM C 580-85/1990; foram moldados corpos-de-prova prismáticos de 4 cm x 4 cm x 16 cm, e confeccionados corpos-de-prova com 3 repetições para cada traço.

Para a confecção dos corpos-de-prova, foram dispostas duas camadas de argamassa, preenchendo o molde metálico, recebendo 60 golpes cada. Os corpos-de-prova foram desmoldados com 24 horas, permaneceram por 7 dias em câmara úmida e, os demais dias de cura, ao ar livre.

Os ensaios foram realizados aos 28 dias. Foram medidos todos os lados e marcados os eixos dos prismas ensaiados com a finalidade de evitar erros na interpretação dos dados (Figura 14).



Figura 14. Ensaio de tração na flexão dos corpos-de-prova prismáticos, e vista após o ensaio.

Com os resultados obtidos em laboratório calculou-se a Tração do vão (S), em Mpa, por meio da fórmula:

$$S = \frac{3PL}{2bd^2}$$

onde: S = Tração do vão (MPa);
P = Valor da carga utilizada (N);
L = Vão (mm);
b = largura (mm);
d = profundidade (mm).

Para este ensaio de argamassa, ainda não existe um procedimento definido em norma brasileira.

3.5.6.3 Absorção de água por capilaridade

O ensaio foi realizado segundo a NBR 9779/1995, com uso de corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm x 100 mm, sendo 3 corpos-de-prova para cada uma das dosagens em PV.

A cura dos corpos-de-prova foi feita em condições naturais de temperatura. Foram realizados ensaios de absorção de água por capilaridade aos 7 dias de idade e aos 28 dias.

Antes do início do ensaio, os corpos-de-prova foram colocados para secar em estufa de cultura, modelo 002-E da marca FANEN, a 60°C por 24 horas, para obter constância de massa. Após este processo, os mesmos tiveram sua extensão longitudinal impermeabilizada e foram colocados sobre suportes, não absorventes, dentro de uma bandeja com nível de água constante à 5 ± 1 mm acima da face inferior do corpo-de-prova (Figura 15).



Figura 15. Ensaio de absorção de água por capilaridade.

As leituras foram realizadas nos seguintes intervalos: 1, 3, 6, 24, 48 e 72 h. Após a última leitura, os corpos-de-prova foram rompidos para que se pudesse observar também a altura da penetração de água (Figura 16).



Figura 16. Corpos-de-prova sendo rompidos para se observar a altura da penetração de água.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Determinação do traço dos corpos-de-prova

4.1.1 Ensaios de Ultra-som

Os primeiros corpos-de-prova confeccionados, com dosagem de PV variando de 5% a 20%, tratada com cal e sem tratamento, T1', T2', T3', T4', T5', T6', T7', T8', foram ensaiados com equipamento de ultra-som, buscando obter uma correlação entre a resistência mecânica e a velocidade de propagação da onda ultra-sônica. Os resultados estão na Tabela 4 e 5, a seguir, cuja análise permitiu que fossem construídas as Figuras seguintes com descrições abaixo das mesmas.

Tabela 4. Resultados do ensaio de Ultra-som aplicado aos corpos-de-prova cilíndrico – Adição de PV.

BLOCOS		IDADE			
Adição/nat	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	
T1' 5%	2,16	2,66	2,93	3,00	
T2' 10%	2,07	2,60	2,76	2,83	
T3' 15%	1,93	2,43	2,58	2,59	
T4' 20%	1,47	2,05	2,22	2,22	
Adição/cal	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	
T5' 5%	2,09	2,84	2,88	3,02	
T6' 10%	2,16	2,72	2,75	2,83	
T7' 15%	2,08	2,54	2,61	2,59	
T8' 20%	1,91	2,28	2,40	2,31	
Adição/Natural	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	
T1 17%	1,85	2,69	2,73	2,60	
T2 22%	1,44	2,13	2,36	2,29	
T3 25%	1,00	1,93	2,28	1,89	
T4 30%	0,94	1,82	2,02	1,96	
Adição/cal	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	
T5 17%	1,84	2,72	2,73	2,72	
T6 22%	1,69	2,46	2,39	2,31	
T7 25%	1,46	2,26	1,95	2,04	
T8 30%	1,32	2,00	2,11	1,95	

Tabela 5. Resultados do ensaio de Ultra-som aplicado aos corpos-de-prova cilíndrico – Adição de PV com substituição do traço convencional de areia (AS).

BLOCOS		IDADE			
Sub/nat	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	
T9 17%	1,33	2,43	2,27	2,17	
T10 22%	1,45	2,21	2,32	2,07	
T11 25%	1,45	1,86	2,13	1,96	
T12 30%	1,41	1,72	2,09	1,85	
Sub/cal	1 DIA	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	
T13 17%	1,83	2,70	2,72	2,70	
T14 22%	1,04	2,43	2,09	1,91	
T15 25%	0,99	2,07	2,11	1,92	
T16 30%	0,66	1,87	1,76	1,63	
Testemunha	2,58	3,32	3,34	3,42	

De acordo com resultados obtidos, pôde-se observar um aumento da velocidade ao longo dos 7 primeiros dias após a moldagem dos compósitos. Após esse período de tempo, até chegar aos 28 dias, os resultados apresentaram valores variáveis. Estas variações remetem ao fato de que os equipamentos de ultra-som detectam descontinuidades internas em materiais.

Na Figura 17, pode-se observar a evolução da velocidade ultra-sônica, na direção longitudinal, para corpos-de-prova fabricados com partículas vegetais de *Pinus caribaea* no estado natural (sem tratamento).

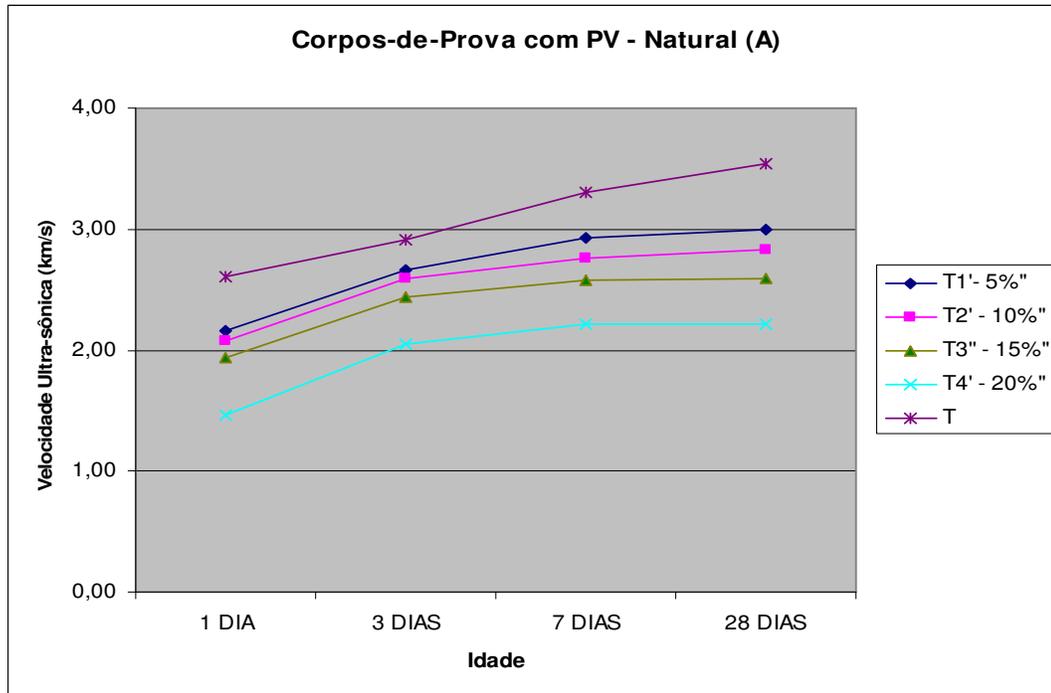


Figura 17. Efeito da adição (%) de partículas naturais de *Pinus caribaea* na velocidade de propagação da onda ultra-sônica.

Para dosagens de 5% e 10%, T1' e T2', respectivamente, ocorreram modificações na velocidade da propagação da onda ultra-sônica, havendo um aumento gradativo até a idade de 7 dias e estabilizando-se aos 28 dias. Pôde-se também observar que em T4' a velocidade de propagação da onda ultra-sônica ($2,22 \mu s$) foi inferior às outras dosagens, apresentando valores de velocidade ultra-sônica 37,5% inferior à Testemunha (T).

Na Figura 18, apresentam-se as curvas referentes aos compósitos fabricados com partículas vegetais de *Pinus caribaea* tratadas com imersão em solução aquosa à base de cal. Observou-se um aumento na velocidade de todas as dosagens, porém, sem diferença significativa entre partículas naturais e tratadas com cal. Pode-se notar que as substâncias inibitórias do cimento foram parcialmente removidas, pois, se comparadas às velocidades expostas na Figura 17, é perceptível que a velocidade ultra-sônica obteve pequenas variações.

Constatou-se uma variação positiva da velocidade ultra-sônica para os traços com PV tratada com cal, ou seja, entre T1' e T5' – T2' e T6' – T3' e T7' – T4' e T8' a variação medida foi de 0,66%; 1,41%; 1,54%; e 3,9%, respectivamente.

Em relação a T, os traços com menores percentuais de PV obtiveram melhores resultados, tanto para PV em estado natural quanto para as tratadas com cal. No entanto, a diferença de velocidade de propagação da onda ultra-sônica, entre os maiores percentuais de PV e T, alcançou 62,6% do valor de T. De modo geral os resultados obtidos com o END (ensaio não-destrutivo) são semelhantes aos obtidos no Ensaio de Compressão Axial.

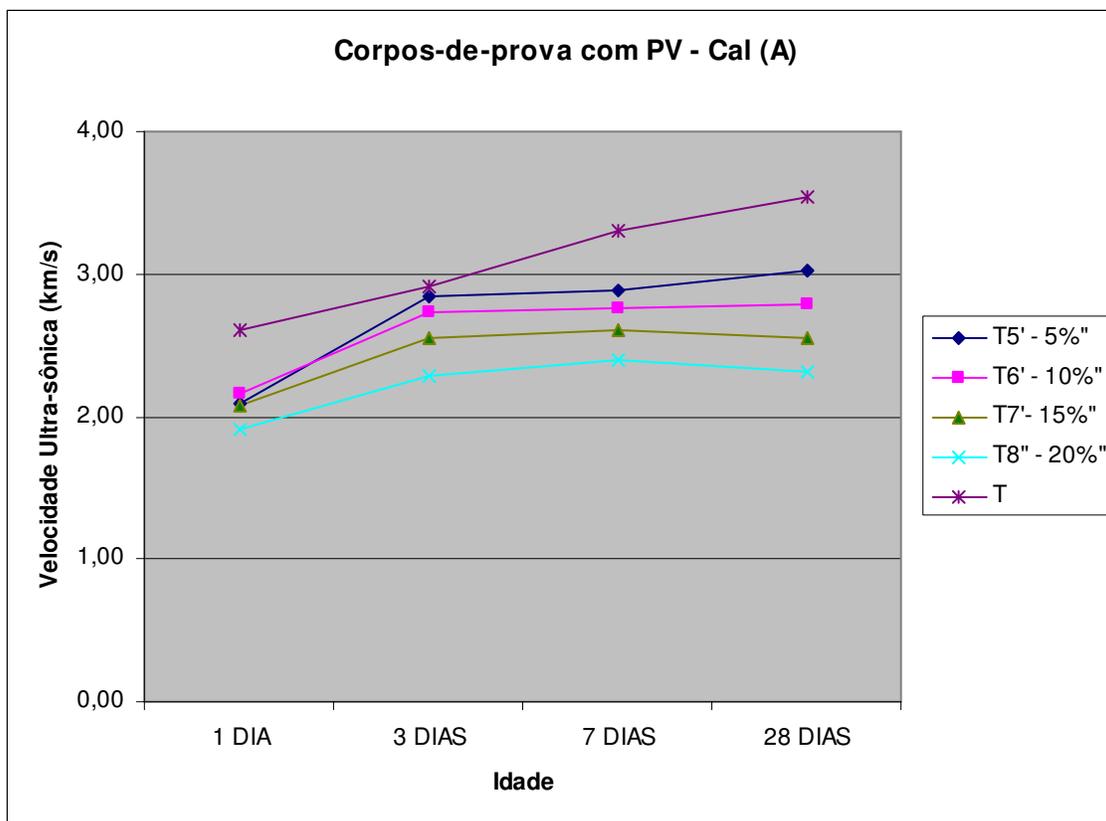


Figura 18. Efeito da adição (%) de partículas de *Pinus caribaea* tratadas com cal na velocidade de propagação da onda ultra-sônica.

Após os resultados preliminares de dosagens de PV variando de 5% a 20%, observou-se que houve diferença de propagação de velocidade ultra-sônica entre PV tratada com cal e natural bem como diferença entre as dosagens. Baseado nesses resultados, apesar dos traços T4' e T8', apresentarem medição do tempo de propagação da onda ultra-sônica com valores de 2,22 μ s e 2,31 μ s respectivamente, terem obtido os menores valores de velocidade ultra-sônica (porém, não tão inferiores aos outros traços) optou-se por testar outras dosagens de PV e areia.

A Figura 19 mostra o desempenho da velocidade ultra-sônica para os corpos-de-prova fabricados com percentuais de PV de *Pinus caribaea* com dosagens variando de 17% a 30%. Observou-se um pequeno aumento na velocidade entre os traços nos 3 primeiros dias, onde T1 (2,72 μ s) e T2 (2,46 μ s) deram uma pequena estabilizada, apresentando declínio até o final do ciclo de 28 dias. Os traços T3 (2,04 μ s) e T4 (1,95 μ s), apesar do aumento da propagação da velocidade ultra-sônica nos primeiros dias, apresentaram um efeito desfavorável se comparados aos demais traços, com a velocidade de propagação da onda ultra-sônica em média 28,3% menor que os demais; e resultados com valores médios de 43,7% inferior a T (3,55 μ s).

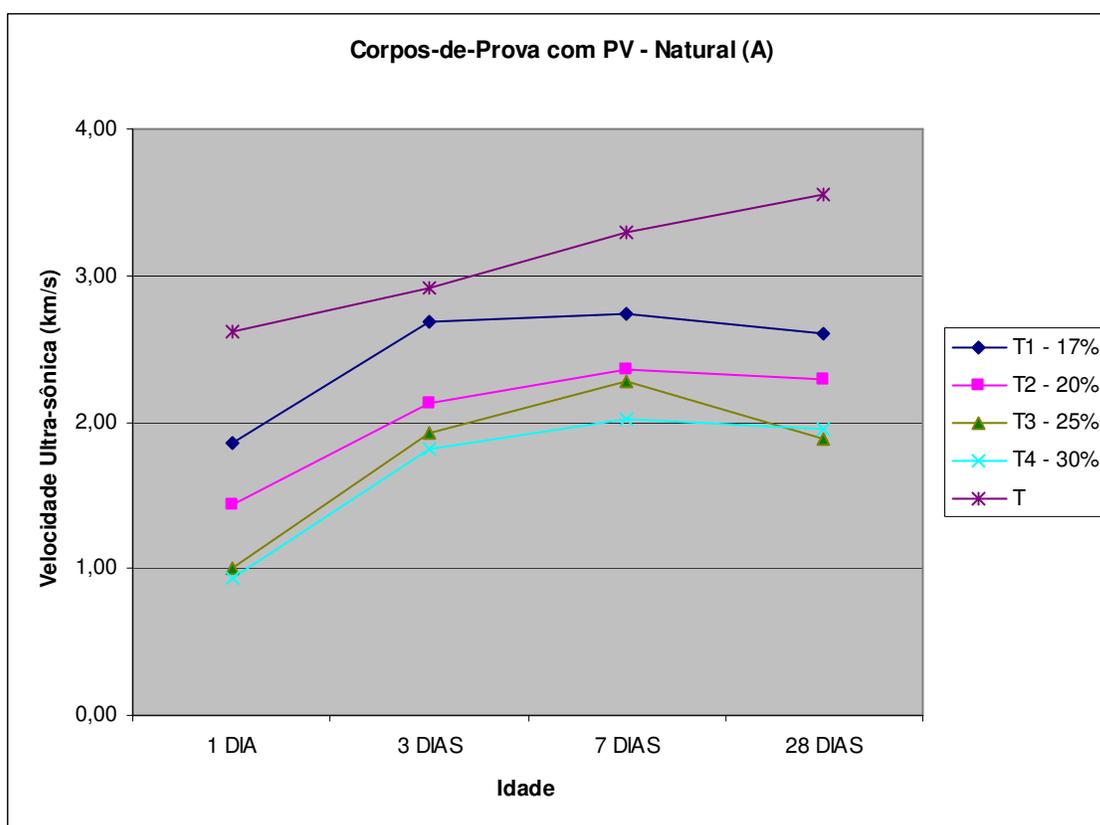


Figura 19. Efeito da adição (%) de partículas de *Pinus caribaea*, sem tratamento, com dosagens de 17% a 30%, na velocidade de propagação da onda ultra-sônica.

Na Figura 20, apresenta-se o desempenho da velocidade ultra-sônica para os corpos-de-prova fabricados com percentuais de PV de *Pinus caribaea* tratadas com cal, com dosagens de 17% a 30%. Observou-se um aumento da onda de propagação da velocidade ultra-sônica em relação às mesmas dosagens de PV sem tratamento, expostas na Figura 19. De maneira

diferente, T8 apresentou resultado 1% inferior a T4 quando o percentual de PV foi aumentado consideravelmente para maiores valores de dosagem de PV; observou-se que a velocidade diminuía, tanto nos compósitos com partículas de *Pinus caribaea* em estado natural quanto nos tratados com cal.

Em T5, notou-se uma constante evolução, com valores de velocidade de onda ultra-sônica variando de 1,84 a 2,72 μ s e com resultado 23,3% menor que o valor da velocidade da propagação da onda ultra-sônica em T. Em T6, houve um pequeno declínio após o 3º dia, obtendo velocidade 34,9% inferior a T aos 28 dias. Os traços T7 e T8 apresentaram resultados de velocidade ultra-sônica 25% menor em relação a T5 e T6 e em média 44,2% inferior à Testemunha (T).

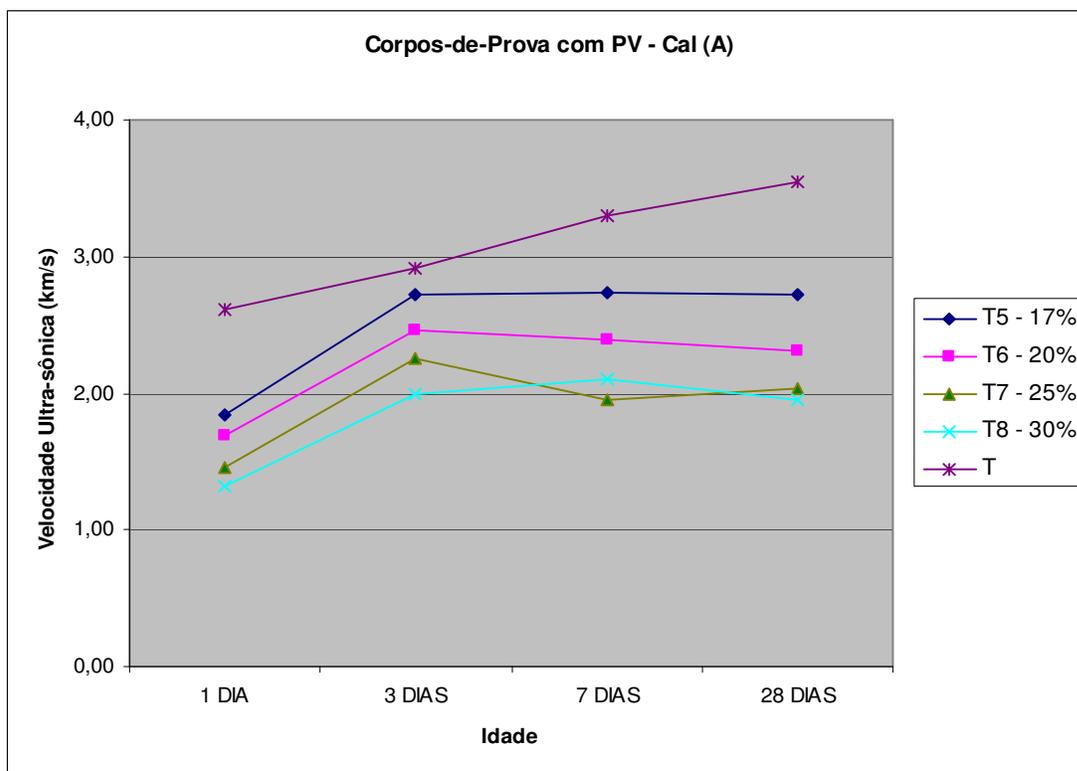


Figura 20. Efeito da adição (%) de partículas de *Pinus caribaea*, tratadas com cal, com dosagens de 17% a 30%, na velocidade de propagação da onda ultra-sônica.

Na Figura 21, observou-se a evolução de T9 (2,70 μ s) e T10 (2,43 μ s) até o 3º dia, chegando aos 28 dias com valores de 2,70 μ s, e 1,91 μ s respectivamente, onde T9 permaneceu estável e com valores de velocidade de propagação da onda de ultra-som 23,9% menor que o

valor de T. Em T11 e T12 houve um aumento gradativo na velocidade, porém, com um declínio da mesma após os 7 dias, onde obtiveram valores 45,9% e 54% inferiores à T respectivamente.

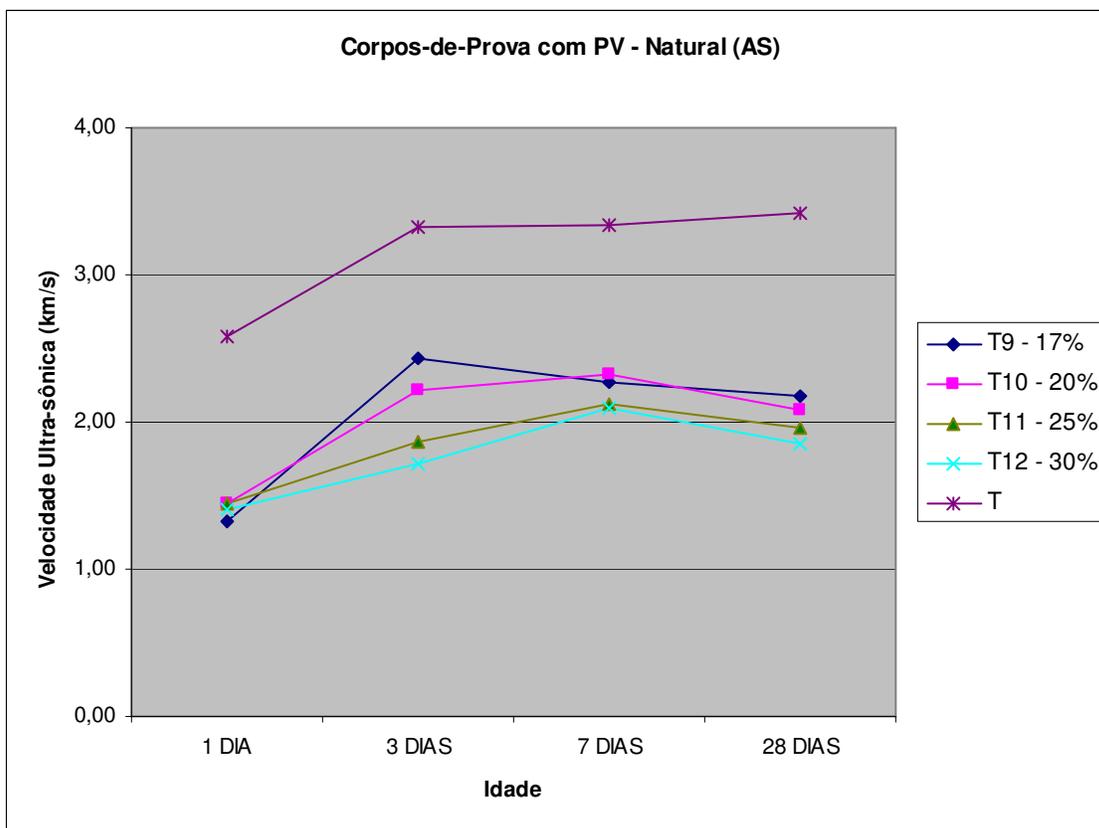


Figura 21. Efeito da adição (%) de partículas naturais de *Pinus caribaea* na velocidade de propagação da onda ultra-sônica – com Traço de 1: 1,25: %PV: 0,6.

Na Figura 22, observa-se um aumento significativo na velocidade da onda de propagação dos traços, onde T14, T15 e T16 obtiveram bom desempenho até o 3º dia. Após esta idade, esses traços alcançaram resultados pouco favoráveis, com percentuais de resultados de 41,7%, 44,8% e 47,9%, respectivamente, inferiores em relação à Testemunha (T). O traço T13 (2,17 μ s), com percentual de 17% de PV, tratada com cal, obteve melhor resultado que os demais, onde conseguiu estabilidade após o 3º dia e valores de velocidade da propagação da onda ultra-sônica 38% menores que T.

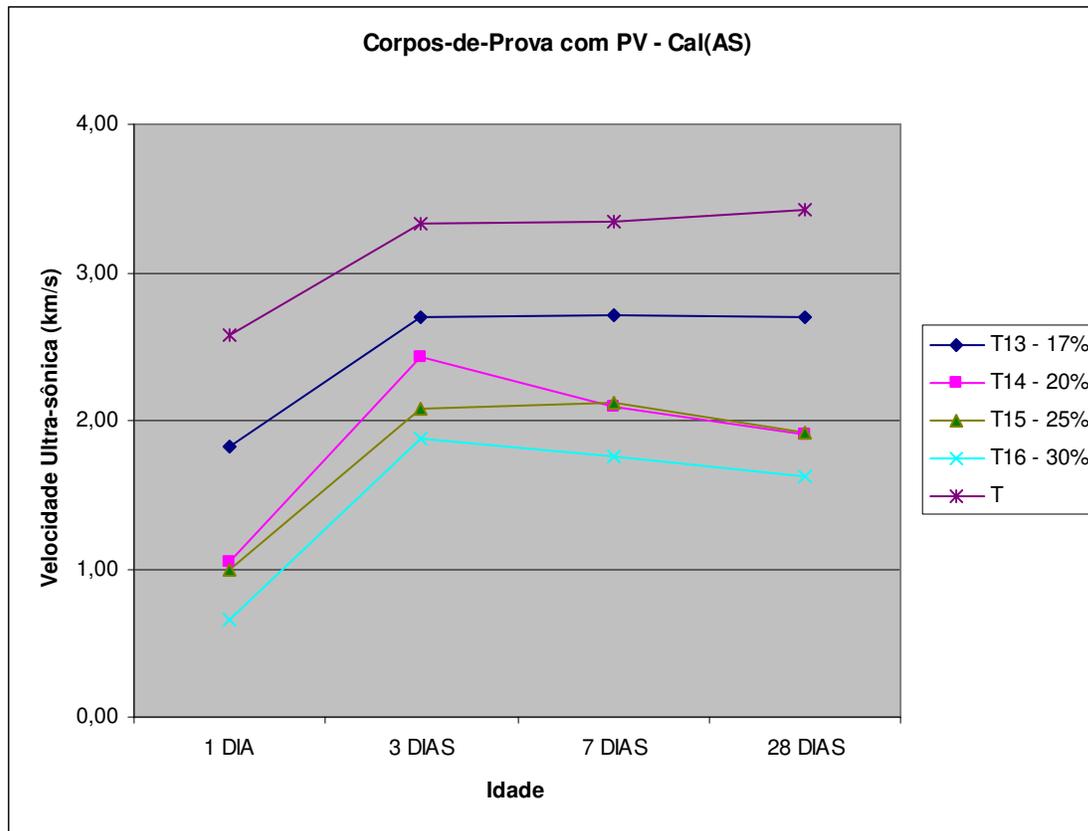


Figura 22. Efeito da adição (%) de partículas de *Pinus caribaea* tratadas com cal na velocidade de propagação da onda ultra-sônica – com Traço de 1: 1,25: %PV: 0,6.

Os primeiros traços foram necessários para determinar novos percentuais de PV nos traços seguintes, bem como suas variações. Após os ensaios de ultra-som, constatou-se que quanto menor o teor de PV maior será a velocidade de propagação da onda ultra-sônica. Porém vale enfatizar que nem sempre um percentual de PV, que tem melhor desempenho em um ensaio, também o terá em todos os outros. Entre os percentuais dos traços T1', T2', T3', T4', T5', T6', T7', T8', foi possível constatar que há uma pequena diferença entre corpos-de-prova confeccionados com PV tratada com cal e natural, e entre traços, com pequenas variações de valores de velocidade da onda ultra-sônica, os quais alcançaram percentuais de 96,1% a 99,34% do valor obtido na Testemunha (T).

Com os traços T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, observou-se que há diferença significativa entre os mesmos, havendo pouca diferença entre os blocos (cal e natural) e diferença significativa em pelo menos 2 tratamentos (percentuais de PV). Os traços T3, T4, T7 e T8 obtiveram resultados pouco satisfatórios e, portanto, foram descartados. Já os demais traços

obtiveram uma evolução boa, tendo destaque T5 e T6 com dosagens de PV de 17% e 20%, respectivamente, tratadas com cal, alcançando em média 70,8% do valor de T.

Quanto aos resultados obtidos com T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16, melhores resultados foram obtidos com T13 (2,70 μ s) obtendo-se valores 23,9% menores que T.

De acordo com o quadro de ANOVA, com índice de 95% de confiança, os traços que obtiveram maior sucesso na confecção de corpos-de-prova, foram os que continham percentuais de PV variando entre 17% e valores $\leq 22\%$, e percentuais menores, observando-se que ao atingir 22% e valores maiores de quantidade de PV, o compósito ia se tornando cada vez mais frágil.

4.2 Avaliação das propriedades das AMPV no estado endurecido

4.2.1 Resistência à Compressão (MPa)

Para auxiliar a análise dos resultados do ensaio de resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos, os mesmos estão dispostos sob a forma de traços indicando seu desempenho aos 7 e 28 dias. Os resultados completos estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados do ensaio de Resistência à Compressão Axial aplicados aos corpos-de-prova cilíndricos aos 7 e 28 dias.

Tratamento/dias	Dosagens de PV				
PV NATURAL (A)	T	T1'	T2'	T3'	T4'
7d	23,40	13,673	12,387	13,145	11,801
28d	25,35	14,673	13,387	14,245	12,701
PV-CAL (A)	T	T5'	T6'	T7'	T8'
7d	23,40	11,684	12,387	13,26	11,476
28d	25,35	13,684	14,406	14,27	12,376
PV NATURAL (A)	T	T1	T2	T3	T4
7d	23,40	14,178	10,103	6,089	6,356
28d	25,35	15,078	10,703	6,889	6,456
PV-CAL	T	T5	T6	T7	T8
7d	23,40	11,565	11,27	8,104	6,204
28d	25,35	12,665	12,47	9,004	6,804
PV NATURAL (AS)	T	T9	T10	T11	T12
7d	23,40	6,196	5,613	8,316	5,138
28d	25,345	7,296	6,413	9,216	6,838
PV-CAL (AS)	T	T13	T14	T15	T16
7d	23,40	6,256	7,575	9,319	9,302
28d	25,35	7,356	8,775	10,219	11,402

Nas Figuras 23 e 24, estão dispostos os resultados dos traços com dosagens de PV, sem tratamento e com tratamento, respectivamente, variando de 5% a 10%. Os corpos ensaiados, com idade de 28 dias, foram os mesmos utilizados nos ensaios não-destrutivos.

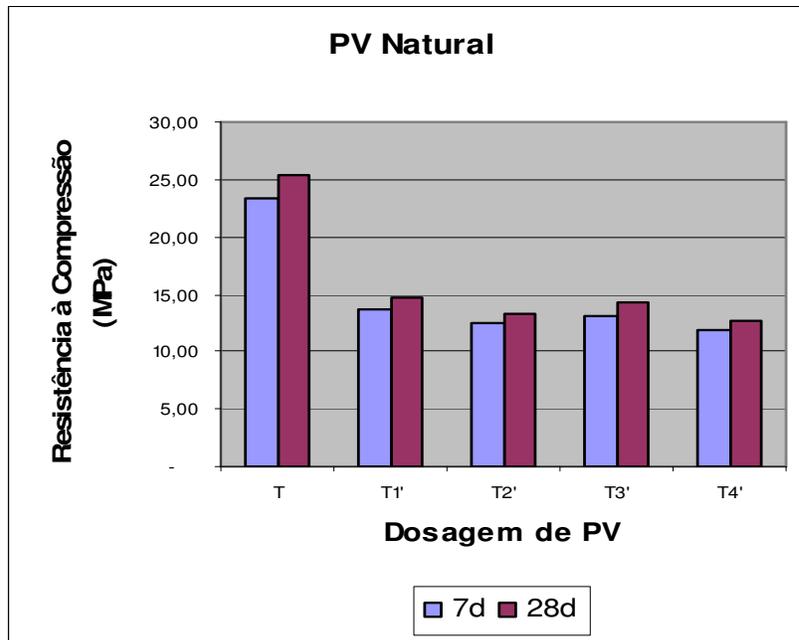


Figura 23. Resultados de resistência à compressão das argamassas de traço T, T1', T2', T3', T4' aos 7 e 28 dias.

As resistências das argamassas T1' (13,67 MPa) e T3' (13,14 MPa) foram as que obtiveram melhor desempenho aos 7 e 28 dias, se comparadas a T2' e T4', Quando comparadas à T obtiveram valores de compressão axial em média 42% menor. T4' apresentou os resultados mais desfavoráveis, alcançando apenas 50,1% do valor obtido em T.

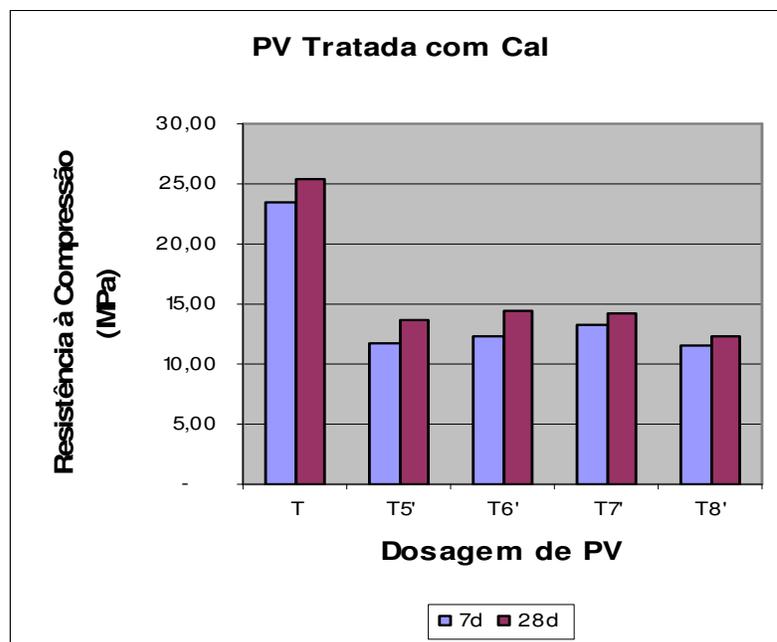


Figura 24. Resultados de resistência à compressão das argamassas de traço T, T5', T6', T7', T8' aos 7 e 28 dias.

As resistências das argamassas T6' (12,38 MPa) e T7' (13,26 MPa) são, em todas as idades, superiores em valores de compressão axial às demais argamassas da Figura 24, com exceção de T que alcançou valores de compressão axial, em média, 46% maior que todas as outras. Todos os traços, exceto T5' (13,68 MPa) que obteve resultado inferior a T1' (14,67 MPa) com valor 6% menor, obtiveram melhor desempenho do que os resultados dos traços com adição de PV natural expostos na Figura 23, anteriormente.

Na Figura 25, observa-se que T1 (15,07 MPa) obteve melhor resistência à compressão, superior aos demais traços com adição de PV, apresentando valores de compressão axial 42,8% superior a T8 (6,80 MPa) e alcançando valor de compressão axial de 59,45% do valor obtido em T. A argamassa T4 (6,45 MPa) foi a que apresentou resultados mais desfavoráveis.

Na Figura 26, observa-se o desempenho dos traços com percentuais de PV tratadas com cal, onde T5 (12,66 MPa) obteve melhor resultado de resistência à compressão, porém, inferior a T1, e apresentou valor 1,5% maior em relação a T6 (12,47 MPa). Os corpos-de-prova T6, T7 e T8 se comportaram melhor em relação a T2, T3 e T4.

Segundo o quadro de ANOVA baseado nos valores de compressão axial, com índice de significância de 5 %, não houve uma diferença significativa entre PV lavada com cal e PV natural.

Estatisticamente, comprovou-se que a variação entre uma amostra e outra, ou seja, entre percentuais de PV, foi significativa, o que permite identificar os percentuais de PV a serem trabalhados nos próximos ensaios. As amostras que tiveram suas partículas vegetais lavadas com cal se comportaram melhor no ensaio de compressão axial, quando houve uma redução do percentual de partículas.

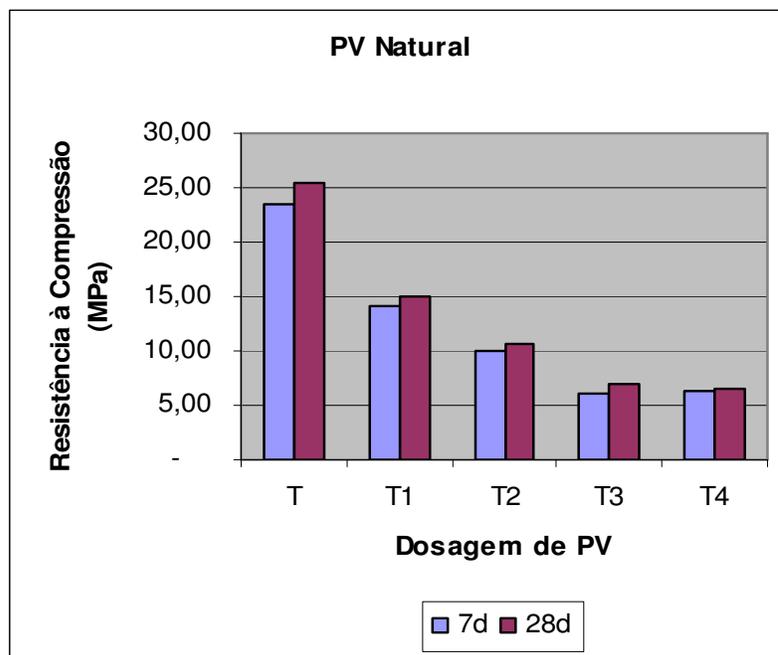


Figura 25. Resultados de resistência à compressão das argamassas de traço T, T1, T2, T3, T4 aos 7 e 28 dias.

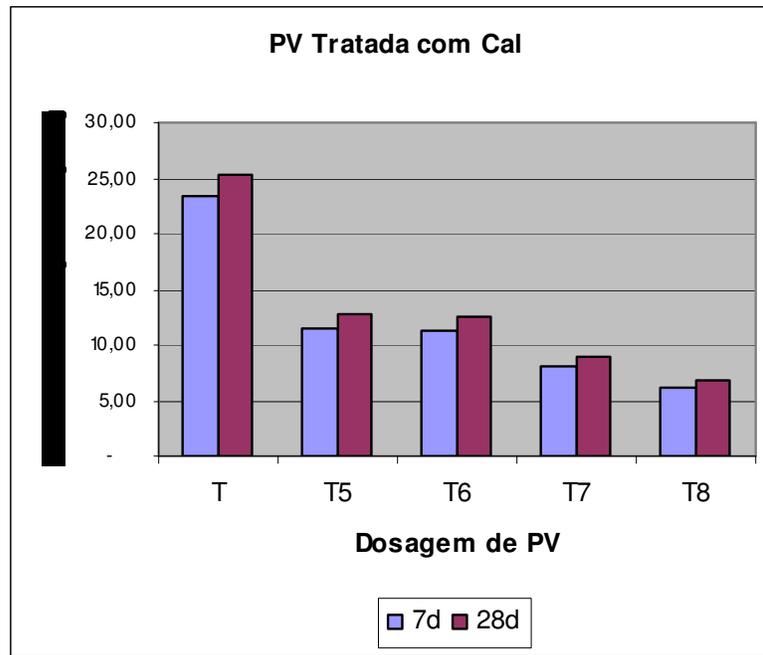


Figura 26. Resultados de resistência à compressão das argamassas de traço T, T5, T6, T7, T8 aos 7 e 28 dias.

Nas Figuras 27 e 28, observou-se que os corpos-de-prova com percentuais de PV tratados com cal, com substituição do traço convencional de areia por 1,25 de massa de cimento, alcançaram maior resistência à compressão axial se comparados aos corpos-de-prova com partículas vegetais sem tratamento. Observou-se ainda que os maiores resultados foram alcançados por argamassas com maior percentual de PV. A argamassa T16 obteve melhor desempenho tanto aos 7 quanto aos 28 dias, porém, com resultados 55,02% menores que os obtidos por T; já T14 (6,41 MPa) obteve os menores resultados aos 28 dias. A argamassa T15 (10,21 MPa) obteve valores 1% maiores de compressão axial, sem diferença significativa, em relação a T11 (9,21 MPa).

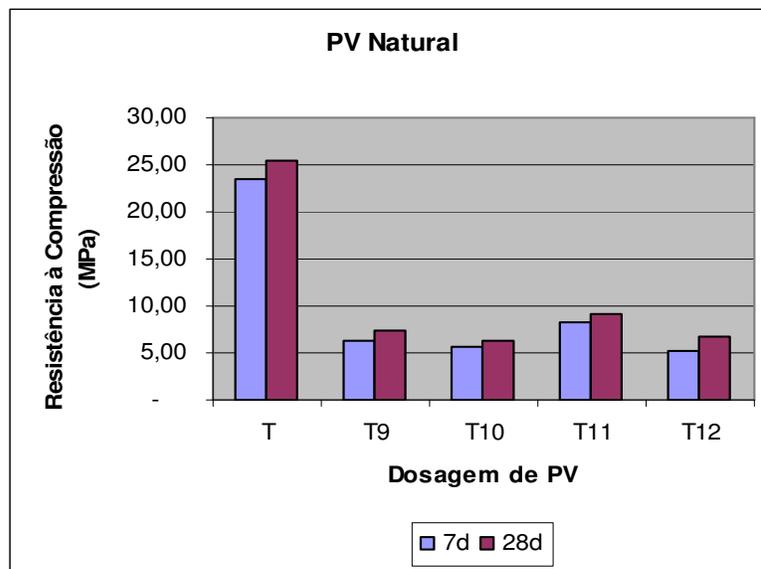


Figura 27. Resultados de resistência à compressão das argamassas de traço T, T9, T10, T11, T12 aos 7 e 28 dias.

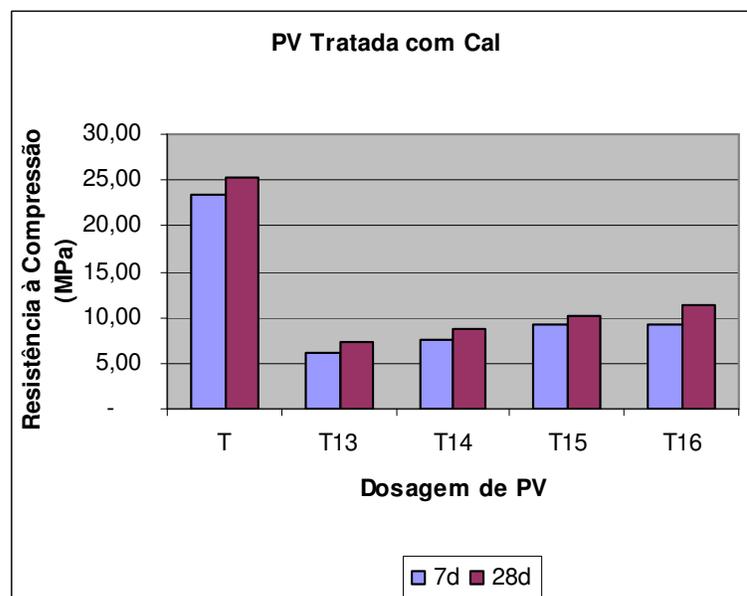


Figura 28. Resultados de resistência à compressão das argamassas de traço T, T13, T14, T15, T16 aos 7 e 28 dias.

Comparando os resultados entre os traços, constatou-se que os traços com menores dosagens de PV obtiveram melhor desempenho, onde T1' (14,67 MPa) se destacou. Já em maiores proporções de PV destacou-se T1(15,07 MPa) , T5 (12,66 MPa) e T6 (12,47 MPa), que obtiveram os resultados mais satisfatórios se comparados à T (25,35 MPa).

Quando houve redução na massa de areia houve também queda na resistência à compressão, apresentando resultados inferiores aos apresentados nas Figuras 25 e 26. Porém, foi observado que, neste caso de redução de areia, as argamassas com maior quantidade de PV, tratadas com cal, obtiveram melhores resultados de compressão axial.

Os fatores que influenciaram as variações nos resultados de compressão axial foram o tratamento (uso de PV natural e tratada com cal) e o traço (dosagens de PV). A média geral encontrada para resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias para argamassas modificadas com PV tratada com cal foi de 13,26 MPa e para argamassas com PV no estado natural foi de 12,76 MPa com variação de 10,76%, que, de acordo com a literatura, são valores satisfatórios para compósitos.

De modo geral, as argamassas que tiveram adicionados percentuais de PV tratados com cal obtiveram melhor desempenho em relação às argamassas modificadas com adição de PV em estado natural. Beraldo e Carvalho (2004), a média da Resistência à Compressão Axial dos compósitos para os diversos tratamentos realizados (não levando em consideração aspectos como a época de corte, idade, tipo de cimento, posição de amostragem) foi de 6,7 MPa apresentando variação de 10 %. Quando avaliaram os compósitos com tipos de cimentos diferentes acharam valores de 4,2 MPa e 8,4 MPa para CP II-E e CP V-ARI respectivamente, constatando a influência do tipo de cimento na Resistência à Compressão Axial do compósito.

4.2.2 Resistência à Tração na Flexão (MPa)

Nas Figuras 29 e 30 estão esquematizados os resultados dos ensaios de tração na flexão referente aos corpos-de-prova prismáticos confeccionados com adição de PV tratada com cal variando de 17% a 30%, e dos corpos-de-prova confeccionados com a substituição do traço convencional da areia por 1,25 e com adição de PV, também, tratada com cal com dosagens de PV variando de 17% a 30%, respectivamente.

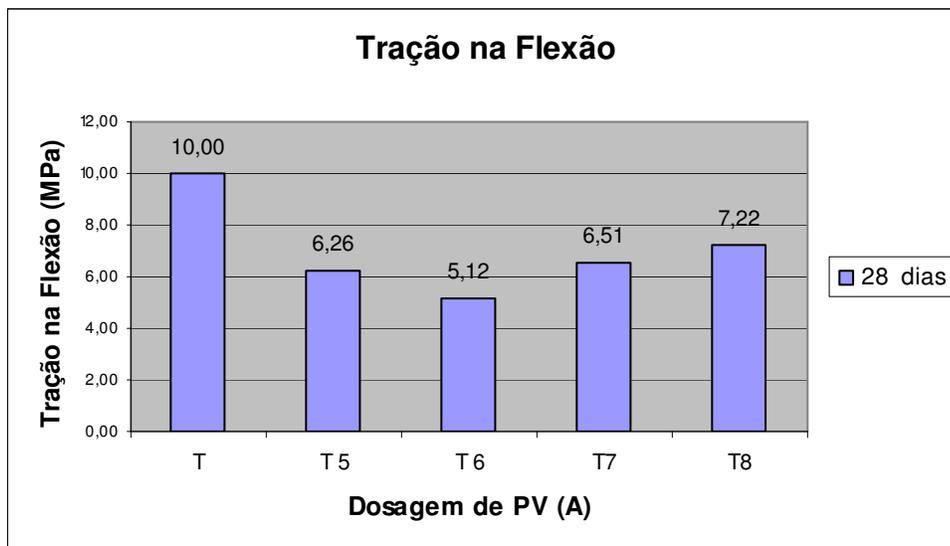


Figura 29. Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão realizado aos 28 dias – corpos-de-prova com adição de PV tratada com cal.

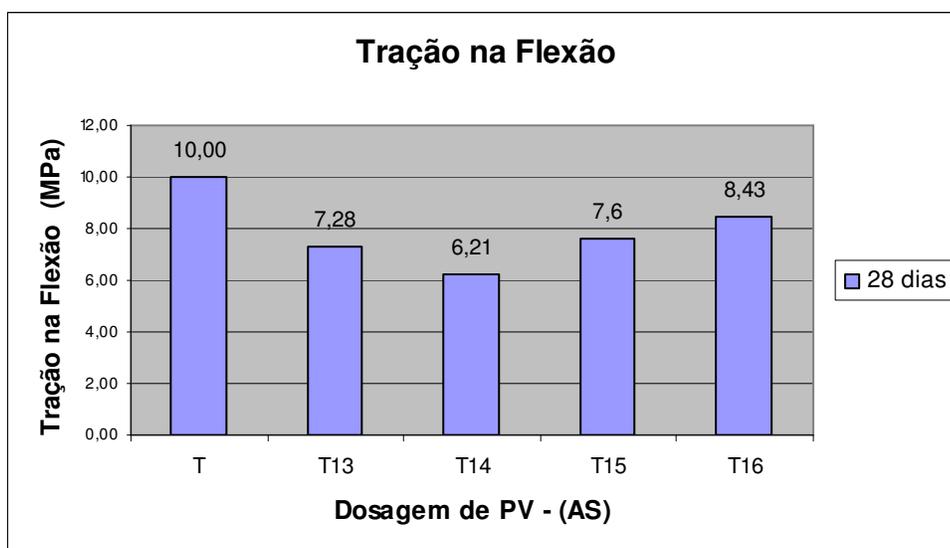


Figura 30. Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão realizado aos 28 dias – corpos-de-prova com substituição do traço convencional de areia e adição de PV tratada com cal.

Na Figura 29, observou-se que T8 (7,22 MPa) alcançou 72% do valor de Tração na Flexão de T, e obteve o melhor desempenho em relação a T5 (6,26 MPa) e T7 (6,51 MPa) que obtiveram resultados semelhantes com variação de 3,8% de um para o outro, e T6 (5,12 MPa) alcançou o resultado menos satisfatório em relação aos demais, alcançando resultados de Tração na Flexão 48,8% inferior à Testemunha (T).

As argamassas T13, (7,28 MPa) T15 (7,60 MPa) e T16 (8,43 MPa) apresentaram resultados de resistência à tração consideravelmente superiores às demais, onde T16 obteve valores de tração apenas 15,7% inferior em relação à T. Observou-se ainda que as argamassas com substituição do traço convencional de areia e adição de PV (AS) apresentaram um desempenho considerável em relação aos resultados das argamassas com adição de PV (A), dispostas na Figura 29. Nas argamassas com PV (AS), todos os resultados são superiores, em média, 15,06% em relação às argamassas com adição de PV (A). De modo geral, os melhores resultados foram obtidos quando havia aumento da dosagem de PV nas argamassas.

Pimentel (2004), realizou estudo sobre a durabilidade de compósito de biomassa vegetal e cimento com adição de polímeros e aos 28 dias, os corpos-de-prova foram ensaiados, achando para o compósito sem adição de polímero valores de 4,4 MPa.

4.2.3 Absorção de água por capilaridade

Considerando os resultados mais significativos acima expostos, foi realizado o ensaio de absorção de água por capilaridade nos corpos-de-prova de argamassas com adição de PV tratada com cal (T5 e T6), e com substituição do traço convencional de areia com adição de PV tratada com cal (T15 e T16) com a finalidade de avaliar qualitativamente a estrutura porosa dos corpos-de-prova ensaiados.

A Figura 31 apresenta os resultados de Absorção Capilar aos 7 dias para argamassas T5, T6, T15 e T16 (com dosagens de PV de 17%, 20%, 25% e 30%, respectivamente) produzidas com PV tratada com cal.

Observou-se que todos os traços modificados com dosagem de PV obtiveram valores de absorção, em 72 horas, inferior à argamassa de referência. Os traços T5 e T6 absorveram mais água que T15 e T16, sugerindo que quanto menor a dosagem de PV e menor a quantidade de areia menor será a absorção de água. Com os maiores valores de absorção, a argamassa T5 absorveu 13,20% menos que a Testemunha. A argamassa T16, com menores valores, absorveu água 19,91% menos que T.

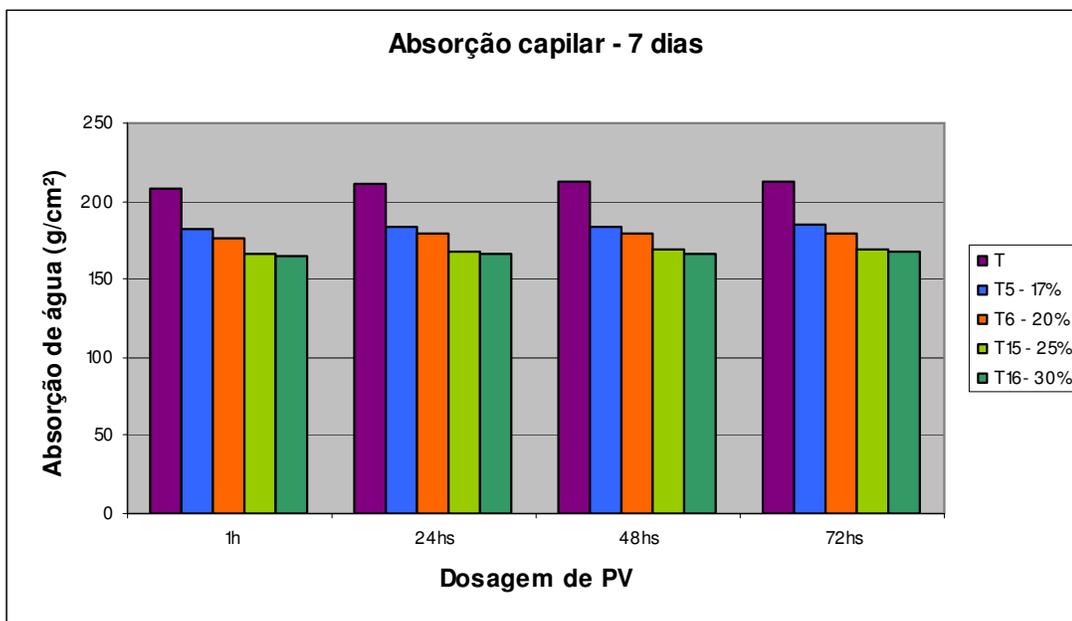


Figura 31. Absorção capilar das argamassas aos 7 dias.

A Figura 32 apresenta os resultados de absorção capilar para argamassas T5, T6, T15 e T16 produzidas com PV tratada com cal aos 28 dias. Constatou-se que, ao cumprir o ciclo de 28 dias, houve uma maior absorção de água em T, T5 e T6, em 72 horas, comparado ao ciclo de 7 dias. Os traços T15 e T16 apresentaram menor absorção de água em relação a todos os traços ensaiados, com absorção 21,84% menor que T, demonstrando apresentar menor quantidade de poros em sua estrutura. A altura de penetração da água apresentou maior e menor valor para a Testemunha (55 mm) e T16 (32 mm), respectivamente. Todos os valores médios de absorção foram inferiores ao limite para materiais já normatizados.

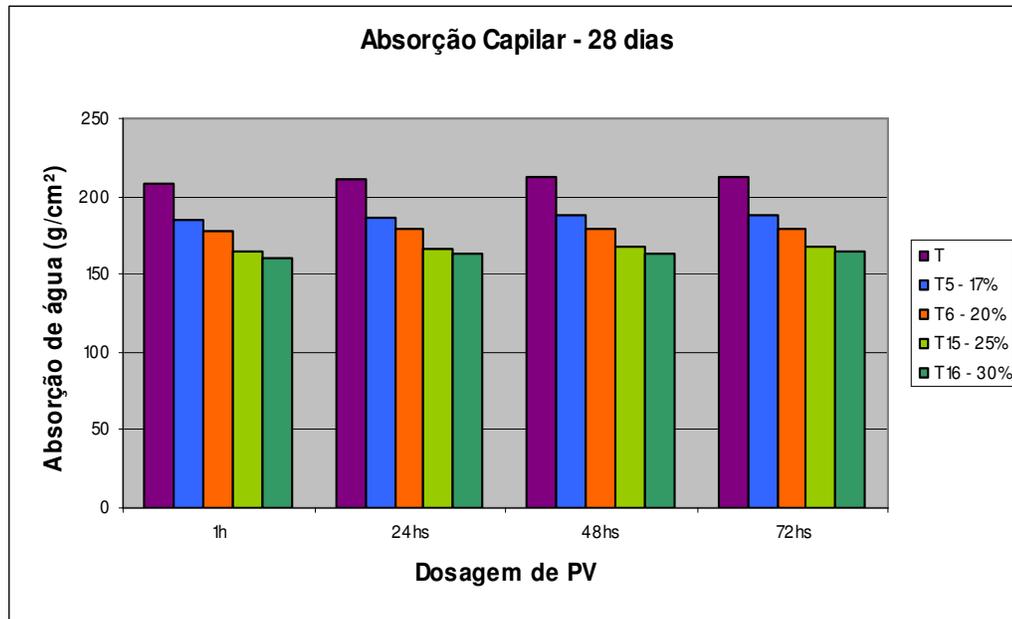


Figura 32. Absorção capilar das argamassas aos 28 dias.

5. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

5.1 Esclarecimentos Iniciais

Os comentários emitidos até agora têm caráter de observações feitas sobre os resultados, sem uma validação estatística mais profunda, o que será feito a partir de agora.

Para a análise, utilizou-se um Planejamento com uma variável “Bloco” representando o tempo de cura (1, 3, 7 e 28 dias), e uma variável “Tratamento” representando os diversos traços, conforme as diversas etapas do trabalho, e o tipo de ensaio (Ultra-som e Compressão Axial).

Com o experimento organizado dessa forma, pôde-se testar:

- a) Se existia diferenças significativas, em termos de tempo de cura, entre as quantidades de dias (1, 3, 7 e 28 dias);
- b) Se existia diferenças significativas entre os diversos traços adotados em cada etapa.

O modelo para a análise de variância (ANOVA) escolhido foi:

$$x_{ij} = \mu + \sigma_t + \beta_i + \varepsilon_{ti}$$

onde

μ = média geral

σ_t = Efeito do Tratamento (traços)

β_i = Efeito do Bloco (dias de cura)

ε_{ti} = erro experimental

Se não existissem diferenças entre os tratamentos, o efeito do tratamento, σ_t , seria zero, e, portanto, estaríamos testando a Hipótese Nula:

$$H_0 : \sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_k = 0$$

contra a hipótese alternativa de que eles não seriam todos nulos, ou seja:

$$H_1: \sigma_t \neq 0$$

para pelo menos um tratamento (um traço).

Da mesma forma, se não existisse diferenças entre os blocos, o efeito do bloco, β_i , seria zero, e, portanto, estaríamos testando a Hipótese Nula:

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

contra a hipótese alternativa de que eles não seriam todos nulos, ou seja:

$$H_1: \beta_i \neq 0$$

para pelo menos um bloco (dias de cura).

Quando a Análise de Variância indicou uma diferença significativa entre tratamentos diferentes, ou entre blocos diferentes, realizou-se comparações múltiplas entre os tratamentos, e entre os blocos. Nesse caso, testou-se as hipóteses:

a) entre tratamentos:

$$H_0 : \mu_i = \mu_j$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ para todo } i \neq j$$

Para esse teste, utilizou-se o Método da “Diferença Menos Significativa” (LSD):

$$LSD = t_{\frac{\alpha}{2}, v} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot s_R^2}{n}}$$

com:

$v = (n - 1) (k - 1)$ = graus de liberdade usado na determinação de t de student;

α = nível de significância = 5% (adotado);

n = número de observações dentro de um mesmo tratamento;

k = número de observações dentro de um mesmo bloco;

s_R^2 = quadrado médio dos resíduos, obtido na ANOVA.

b) entre blocos

$$H_0 : \mu_i = \mu_j$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ para todo } i \neq j$$

Para esse teste, utilizou-se o Método da “Diferença Menos Significativa” (LSD), onde, na expressão anterior, n é substituído por k:

$$LSD = t_{\frac{\alpha}{2}, v} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot s_R^2}{k}}$$

Dois tratamentos, ou dois blocos, cujas médias são \bar{x}_i e \bar{x}_j , são considerados significativamente diferentes se:

$$|\bar{x}_i - \bar{x}_j| > LSD$$

A seguir, serão mostrados os resultados da ANOVA e os testes com LSD.

5.2 Resultados dos Ensaio com Ultra-som

5.2.1. Traços T1' a T4' e T

ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Teste F de Snedecor	
Entre Blocos	$S_B = 1,88476$	3	0,628253	209,476	$F_{5\%,3,12} = 3,49$
Entre Tratamentos	$S_T = 2,95477$	4	0,738693	246,2992	$F_{5\%,4,12} = 3,26$
Total	$S_D = 4,87552$	19	0,256606		
Resíduos (erro)	$S_R = 0,03599$	12	0,002999		

COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS ENTRE TRATAMENTOS E BLOCOS

a) Entre Tratamentos (traços diferentes)

$$t_{2,5\%,4} = \frac{2,776}{0,09615}$$

T1'	T2'	T3'	T4'	T
2,6875	2,565	2,3825	1,99	3,165

0,1225	0,1825	0,3925	1,175
0,305	0,575	0,7825	
0,6975	0,6		
0,4775			

b) Entre Blocos (tempos de cura diferentes)

$$t_{2,5\%,3} = \frac{3,182}{0,123221}$$

1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
2,042	2,612	2,766	2,812

0,57	0,154	0,046
0,724	0,2	
0,77		

Análise:

- a) Todas as demais diferenças, tanto de traço (Tratamentos) quanto de tempo de cura (Blocos) foram significativas.
- b) A diferença entre os tempos de cura 7 dias e 28 dias não se mostrou significativa ($0,046 < 0,123 = \text{LSD}$).

5.2.2. Traços T5' a T8' e T

ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Teste F de Snedecor	
Entre Blocos	$S_B = 1,491895$	3	0,497298	54,75849	$F_{5\%,3,12} = 3,49$
Entre Tratamentos	$S_T = 1,94818$	4	0,487045	53,62947	$F_{5\%,4,12} = 3,26$
Total	$S_D = 4,87552$	19	0,186792		
Resíduos (erro)	$S_R = 0,10898$	12	0,009082		

COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS ENTRE TRATAMENTOS E BLOCOS

- a) Entre Tratamentos (traços diferentes)

$$t_{2,5\%,4} = \frac{2,776}{0,167314}$$

LSD = 0,167314

T5'	T6'	T7'	T8'	T
2,7075	2,615	2,455	2,225	3,165

0,0925	0,16	0,23	0,94
0,2525	0,39	0,71	
0,4825	0,55		
0,4575			

- b) Entre Blocos (tempos de cura diferentes)

$$t_{2,5\%,3} = \frac{3,182}{0,214421}$$

LSD = 0,214421

1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
2,164	2,74	2,796	2,834

0,576	0,056	0,038
0,632	0,094	
0,67		

Análise:

- a) Entre tratamentos não houve diferença significativa tanto entre os traços T5' e T6' quanto entre os traços T6' e T7'. Para os demais traços houve diferença significativa.
- b) Entre blocos só houve diferença significativa entre o valor obtido com 1 dia contra os demais. Entre o restante, não houve diferença significativa.

5.2.3. Traços T1 a T4 e T

ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Teste F de Snedecor	
Entre Blocos	$S_B = 3,043935$	3	1,014645	100,344	$F_{5\%,3,12} = 3,49$
Entre Tratamentos	$S_T = 5,86122$	4	1,465305	144,9123	$F_{5\%,4,12} = 3,26$
Total	$S_D = 9,026495$	19	0,475079		
Resíduos (erro)	$S_R = 0,12134$	12	0,010112		

COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS ENTRE TRATAMENTOS E BLOCOS

- a) Entre Tratamentos (traços diferentes)

$$t_{2,5\%,4} = \frac{2,776}{0,176547} \text{ LSD} = 0,176547$$

T1	T2	T3	T4	T
2,4675	2,055	1,775	1,685	3,165

0,4125	0,28	0,09	1,48
0,6925	0,37	1,39	
0,7825	1,11		
0,6975			

- b) Entre Blocos (tempos de cura diferentes)

$$t_{2,5\%,3} = \frac{3,182}{0,226254} \text{ LSD} = 0,226254$$

1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
1,562	2,378	2,546	2,432

0,816 0,168 0,114
 0,984 0,054
 0,87

Análise:

- a) Entre tratamentos, todas as diferenças foram significativas, com exceção da diferença entre os traços T3 e T4.
- b) Entre blocos só houve diferença significativa entre o valor obtido com 1 dia contra os demais. Entre o restante, não houve diferença significativa.

5.2.4. Traços T5 a T8 e T

ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Teste F de Snedecor	
Entre Blocos	$S_B = 2,046135$	3	0,682045	82,26495	$F_{5\%,3,12} = 3,49$
Entre Tratamentos	$S_T = 4,55207$	4	1,138018	137,2621	$F_{5\%,4,12} = 3,26$
Total	$S_D = 6,697695$	19	0,35251		
Resíduos (erro)	$S_R = 0,09949$	12	0,008291		

COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS ENTRE TRATAMENTOS E BLOCOS

- a) Entre Tratamentos (traços diferentes)

$t_{2,5\%,4} = 2,776$
 LSD = 0,159863

T5	T6	T7	T8	T
2,5025	2,2125	1,9275	1,845	3,165

0,29	0,285	0,0825	1,32
0,575	0,3675	1,2375	
0,6575	0,9525		
0,6625			

- b) Entre Blocos (tempos de cura diferentes)

$t_{2,5\%,3} = 3,182$
 LSD = 0,204873

1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
1,778	2,552	2,504	2,488

0,774	0,048	0,016
0,726	0,064	
0,71		

Análise:

- a) Entre tratamentos só não houve diferença significativa entre os traços T7 e T8. Para os demais traços houve diferença significativa.
- b) Entre blocos só houve diferença significativa entre o valor obtido com 1 dia contra os demais. Entre o restante, não houve diferença significativa.

5.2.5. Traços T9 a T12 e T

ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Gráus de Liberdade	Quadrado Médio	Teste F de Snedecor	
Entre Blocos	$S_B = 1,89346$	3	0,631153	31,71758	$F_{5\%,3,12} = 3,49$
Entre Tratamentos	$S_T = 5,17453$	4	1,293633	65,00938	$F_{5\%,4,12} = 3,26$
Total	$S_D = 7,30678$	19	0,384567		
Resíduos (erro)	$S_R = 0,23879$	12	0,019899		

COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS ENTRE TRATAMENTOS E BLOCOS

- a) Entre Tratamentos (traços diferentes)

$$t_{2,5\%,4} = \frac{2,776}{LSD = 0,247666}$$

T9	T10	T11	T12	T
2,05	2,0125	1,85	1,7675	3,165

0,0375	0,1625	0,0825	1,3975
0,2	0,245	1,315	
0,2825	1,1525		
1,115			

- b) Entre Blocos (tempos de cura diferentes)

$$t_{2,5\%,3} = \frac{3,182}{LSD = 0,317397}$$

1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
1,644	2,308	2,43	2,294

0,664	0,122	0,136
0,786	0,014	
0,65		

Análise:

- a) Não houve diferença significativa entre os traços: T9 e T10, T9 e T11; T10 e T11, T10 e T12; T11 e T12. Sempre houve diferença significativa entre os traços modificados em relação ao T. Também houve diferença significativa entre os traços T9 e T12.
- b) Entre blocos só houve diferença significativa entre o valor obtido com 1 dia contra os demais. Entre o restante, não houve diferença significativa.

5.2.6. Traços T13 a T16 e T

ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Teste F de Snedecor	
Entre Blocos	$S_B = 3,662375$	3	1,220792	76,88008	$F_{5\%,3,12} = 3,49$
Entre Tratamentos	$S_T = 7,26097$	4	1,815243	114,316	$F_{5\%,4,12} = 3,26$
Total	$S_D = 11,1139$	19	0,584942		
Resíduos (erro)	$S_R = 0,19055$	12	0,015879		

COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS ENTRE TRATAMENTOS E BLOCOS

- a) Entre Tratamentos (traços diferentes)

$$t_{2,5\%,4} = \frac{2,776}{LSD = 0,22124}$$

T13	T14	T15	T16	T
2,4875	1,8675	1,7725	1,48	3,165

0,62	0,095	0,2925	1,685
0,715	0,3875	1,3925	
1,0075	1,2975		
0,6775			

b) Entre Blocos (tempos de cura diferentes)

$$t_{2,5\%,3} = 3,182$$

$$\text{LSD} = 0,28353$$

1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
1,42	2,478	2,404	2,316

1,058	0,074	0,088
0,984	0,162	
0,896		

Análise:

- Entre tratamentos, todas as diferenças foram significativas, com exceção da diferença entre os traços T14 e T15.
- Entre blocos só houve diferença significativa entre o valor obtido com 1 dia contra os demais. Entre o restante, não houve diferença significativa.

5.3 Resultados dos Ensaios com Compressão Axial

5.2.7. Traços T1' a T4' e T

ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Teste F de Snedecor	
Entre Blocos	$S_B = 3,54025$	1	3,54025	38,16981	$F_{5\%,1,4} = 7,71$
Entre Tratamentos	$S_T = 202,331$	4	50,58276	545,3667	$F_{5\%,4,4} = 6,39$
Total	$S_D = 206,2423$	9	22,91581		
Resíduos (erro)	$S_R = 0,371$	4	0,09275		

COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS ENTRE TRATAMENTOS E BLOCOS

a) Entre Tratamentos (traços diferentes)

$$t_{2,5\%,4} = 2,776$$

$$\text{LSD} = 0,534695$$

T1'	T2'	T3'	T4'	T
14,173	12,887	13,695	12,251	24,375

1,286	0,808	1,444	12,124
0,478	0,636	10,68	
1,922	11,488		
10,202			

b) Entre Blocos (tempos de cura diferentes)

$$t_{2,5\%,1} = 12,706$$

$$\text{LSD} = 3,869598$$

7 dias	28 dias
14,8812	16,0712

1,19

Análise:

- a) Entre tratamentos, todas as diferenças foram significativas, com exceção da diferença entre os traços T1' e T3'.
- b) Entre os blocos não houve diferença significativa nos traços obtidos aos 7 dias e aos 28 dias.

5.2.8. Traços T5' a T8' e T

ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Teste F de Snedecor	
				F	F _{crítico}
Entre Blocos	S _B = 6,207864	1	6,207864	38,40214	F _{5%,1,4} = 7,71
Entre Tratamentos	S _T = 213,075	4	53,26875	329,523	F _{5%,4,4} = 6,39
Total	S _D = 219,9295	9	24,43661		
Resíduos (erro)	S _R = 0,646616	4	0,161654		

COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS ENTRE TRATAMENTOS E BLOCOS

a) Entre Tratamentos (traços diferentes)

$$t_{2,5\%,4} = 2,776$$

$$\text{LSD} = 0,705899$$

T5'	T6'	T7'	T8'	T
12,684	13,3965	13,765	11,926	24,375

0,7125	0,3685	1,839	12,449
1,081	1,4705	10,61	
0,758	10,9785		
11,691			

b) Entre Blocos (tempos de cura diferentes)

$$t_{2,5\%,1} = 12,706$$

$$\text{LSD} = 5,108604$$

7 dias	28 dias
14,4414	16,0172

1,5758

Análise:

- a) Entre tratamentos, todas as diferenças foram significativas, com exceção da diferença entre os traços T6' e T7'.
- b) Entre os blocos não houve diferença significativa nos traços obtidos aos 7 dias e aos 28 dias.

5.2.9. Traços T1 a T4 e T

ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Teste F de Snedecor	
				F	F _{crítico}
Entre Blocos	S _B = 1,89225	1	1,89225	8,236126	F _{5%,1,4} = 7,71
Entre Tratamentos	S _T = 446,4049	4	111,6012	485,7507	F _{5%,4,4} = 6,39
Total	S _D = 449,2162	9	49,91291		
Resíduos (erro)	S _R = 0,919	4	0,22975		

COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS ENTRE TRATAMENTOS E BLOCOS

a) Entre Tratamentos (traços diferentes)

$$t_{2,5\%,4} = \frac{2,776}{0,841545} \text{ LSD} = 0,841545$$

T1	T2	T3	T4	T
14,628	10,403	6,489	6,406	24,375

4,225	3,914	0,083	17,969
8,139	3,997	17,886	
8,222	13,972		
9,747			

b) Entre Blocos (tempos de cura diferentes)

$$t_{2,5\%,1} = \frac{12,706}{6,090271} \text{ LSD} = 6,090271$$

7 dias	28 dias
12,0252	12,8952

0,87

Análise:

- a) Entre tratamentos, todas as diferenças foram significativas, com exceção da diferença entre os traços T3 e T4.
- b) Entre os blocos não houve diferença significativa nos traços obtidos aos 7 dias e aos 28 dias.

5.2.10. Traços T5 a T8 e T

ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Teste F de Snedecor	
				F	F _{crítico}
Entre Blocos	$S_B = 3,30625$	1	3,30625	26,18812	$F_{5\%,1,4} = 7,71$
Entre Tratamentos	$S_T = 385,8303$	4	96,45757	764,0203	$F_{5\%,4,4} = 6,39$
Total	$S_D = 389,6415$	9	43,2935		
Resíduos (erro)	$S_R = 0,505$	4	0,12625		

COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS ENTRE TRATAMENTOS E BLOCOS

a) Entre Tratamentos (traços diferentes)

$$t_{2,5\%,4} = 2,776$$

$$\text{LSD} = 0,623828$$

T5	T6	T7	T8	T
12,115	11,87	8,554	6,504	24,375
0,245	3,316	2,05	17,871	
3,561	5,366	15,821		
5,611	12,505			
12,26				

b) Entre Blocos (tempos de cura diferentes)

$$t_{2,5\%,1} = 12,706$$

$$\text{LSD} = 4,514655$$

7 dias	28 dias
12,1086	13,2586

1,15

Análise:

- a) Entre tratamentos, todas as diferenças foram significativas, com exceção da diferença entre os traços T5 e T6.
- b) Entre os blocos não houve diferença significativa nos traços obtidos aos 7 dias e aos 28 dias.

5.2.11. Traços T9 a T12 e T

ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Teste F de Snedecor	
				F	F _{crítico}
Entre Blocos	S _B = 4,16025	1	4,16025	32,25	F _{5%,1,4} = 7,71
Entre Tratamentos	S _T = 500,0626	4	125,0157	969,1136	F _{5%,4,4} = 6,39
Total	S _D = 504,7389	9	56,08209		
Resíduos (erro)	S _R = 0,516	4	0,129		

COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS ENTRE TRATAMENTOS E BLOCOS

a) Entre Tratamentos (traços diferentes)

$$t_{2,5\%,4} = 2,776$$

$$\text{LSD} = 0,630586$$

T9	T10	T11	T12	T
6,746	6,013	8,766	5,988	24,375
0,733	2,753	2,778	18,387	
2,02	0,025	15,609		
0,758	18,362			
17,629				

b) Entre Blocos (tempos de cura diferentes)

$$t_{2,5\%,1} = 12,706$$

$$\text{LSD} = 4,563559$$

7 dias	28 dias
9,7326	11,0226

1,29

Análise:

- Entre tratamentos, todas as diferenças foram significativas, com exceção da diferença entre os traços T10 e T12.
- Entre os blocos não houve diferença significativa nos traços obtidos aos 7 dias e aos 28 dias.

5.2.12. Traços T13 a T16 e T

ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Teste F de Snedecor	
Entre Blocos	$S_B = 5,25625$	1	5,25625	36,25	$F_{5\%,1,4} = 7,71$
Entre Tratamentos	$S_T = 404,7749$	4	101,1937	697,8877	$F_{5\%,4,4} = 6,39$
Total	$S_D = 410,6111$	9	45,62346		
Resíduos (erro)	$S_R = 0,58$	4	0,145		

COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS ENTRE TRATAMENTOS E BLOCOS

a) Entre Tratamentos (traços diferentes)

$$t_{2,5\%,4} = 2,776$$

$$\text{LSD} = 0,668549$$

T13	T14	T15	T16	T
6,806	8,175	9,769	10,352	24,375

1,369	1,594	0,583	14,023
2,963	2,177	14,606	
3,546	16,2		
17,569			

b) Entre Blocos (tempos de cura diferentes)

$$t_{2,5\%,1} = 12,706$$

$$\text{LSD} = 4,838301$$

7 dias	28 dias
11,1704	12,6204

1,45

Análise:

- a) Entre tratamentos, todas as diferenças foram significativas, com exceção da diferença entre os traços T15 e T16.
- b) Entre os blocos não houve diferença significativa nos traços obtidos aos 7 dias e aos 28 dias.

6 CONCLUSÃO

Em ensaios com argamassas, nem sempre os resultados permitem identificar tendências claras de comportamento entre argamassas produzidas com diversos percentuais de PV, dificultando a análise comparativa destes.

Entretanto, observou-se que as partículas vegetais de *Pinus caribaea* apresentaram um alto teor de absorção de água. Durante os ensaios de massa específica constatou-se que as partículas, quando foram saturadas em água por 24 horas, tiveram seu peso aumentado em 4 vezes.

Constatou-se que há diferença significativa entre PV tratada com cal e ao natural, mas que há principalmente diferença entre os percentuais de PV utilizados nos traços. Verificando a propriedade mecânica de Resistência à Compressão Axial, observou-se que, em argamassas no estado endurecido, quanto a menor a quantidade de PV maior o seu desempenho, e quando as dosagens de PV eram maiores e a quantidade de areia era reduzida o desempenho da resistência era menor.

Para ensaios de Tração na Flexão, observou-se que o aumento do percentual de PV melhorou a resistência em alguns traços quando a quantidade de areia utilizada era a do traço convencional. Observou-se ainda que, quando a quantidade de areia foi reduzida a 1,25, os traços com quantidade maior de PV obtiveram melhor desempenho.

Nos ensaios de absorção capilar, observou-se que a PV, quando adicionada à argamassa diminui a penetração de água, deixando os corpos-de-prova com uma estrutura porosa menor, se comparados à Testemunha (T). Em todos os casos, a argamassa T obteve a maior altura de penetração de água nos corpos-de-prova depois de ensaiados e rompidos, comprovando que a adição de partículas vegetais é satisfatória, pois proporciona a redução de poros na argamassa.

A adição de PV promoveu em todos os compósitos uma redução significativa na absorção capilar e um aumento na resistência à tração na flexão em alguns dos traços ensaiados, podendo ser um indicativo que a adição de partículas vegetais pode aumentar sua durabilidade.

Com estes resultados, acredita-se que algumas das argamassas ensaiadas, no estado endurecido, apresentam características satisfatórias para nivelamento de contrapiso, sendo necessário ensaios de aderência para avaliar com precisão quais os melhores percentuais de PV.

Quando a relação areia/cimento aumenta, a Resistência à Flexão e à Compressão são bastante reduzidas e a influência da relação PV/cimento na resistência torna-se gradativamente menor. Portanto, não é possível generalizar o comportamento de uma argamassa, sendo necessário um estudo mais abrangente, isto é, com um número maior de marcas comerciais e quantitativos de PV. Até lá, se deve avaliar cada caso em separado.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros propõe-se:

- ✓ A avaliação das propriedades do Contrapiso de Argamassa Modificada com Partícula Vegetal (CAMPV) no estado endurecido, realizando ensaios mais relevantes para sua caracterização, isto é, ensaios de arrancamento para avaliar resistência de aderência à tração, tração direta e aderência superficial, levando em consideração a presença de partículas vegetais na mistura;
- ✓ Uma outra avaliação que se mostra interessante seria o uso de super-plastificante adicionado às argamassas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais**. 204 p. Tese (Concurso de Livre-Docência Departamento de Engenharia da Construção Civil) – Escola Politécnica, USP, São Paulo, 1991.

ANGELIN, R. R. Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento do revestimento de argamassas. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ARGAMASSAS. V.**, 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento portland composto. NBR 11578.1990.5p**

_.**NBR 5732**: Cimento Portland Comum. Rio de Janeiro, 1991.

_.**NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

_.**NBR 7211**: Agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2005.

_.**NBR 7215**: Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_.**NBR 7217**: Agregado: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

_.**NBR 7251**: Agregado em estado solto: determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

_.**NBR 7389**: Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto. Rio de Janeiro, 1992.

_.**NBR 7810**: Agregado em estado compactado a seco: determinação da massa unitária, 1982.

_.**NBR 8490**: Argamassa endurecida para alvenaria estrutural. retração por secagem. 1984.

_.**NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecido. Determinação da absorção de água por capilaridade. 1995.

_.**NBR 11578**: Cimento Portland Composto. Fixa condições exigíveis no recebimento dos cimentos Portland composto (CP II-E, CP II-Z e CP II-F), de classes 25, 32 e 40. Rio de Janeiro. 1991.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test Method for Flexural Strength and Modulus of Elasticity of Chemical-Resistant Mortars, Grouts, and Monolithic Surfacing. **C 580**. 1990.

BARDELLA, P. S. 2005. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com cimento Portland de alta resistência inicial e alto- forno aditivados com sílica ativa curados termicamente**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

BARROS, M. M. S. B. **Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais**. São Paulo, 1991, 265f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BASTOS, Pedro K. X. ; BONIN, L. C. ; CINCOTTO, Maria Alba . Influência da distribuição granulométrica da areia na absorção capilar das argamassas de revestimento. In: **III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, 1999, Vitória - ES. III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Vitória - ES : ANTAC, 1999. p. 379-387.

BERALDO, Antonio Ludovico. Compósitos Biomassa Vegetal – Cimento. In: **Simpósio. Materiais Não convencionais para construção rurais**. 1997. Campina Grande.p.1-48

BERALDO, Antonio Ludovico. Bambu-cimento: alternativa para construções rurais. In: **Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, 1º, 1997, Canela. Anais...: Porto Alegre, RS. 1997. p. 145-150.

BERALDO, Antonio Ludovico; VIEIRA, Flávia de Freitas. Argamassa com adição de fibras de sisal. In: **Simpósio brasileiro de tecnologia**, 5., 2003, São Paulo. 2003. p. 467-477.

BERALDO, Antonio Ludovico; CARVALHO, J. V. Compósito Eucalyptus grandis – Cimento Portland. Scientia Forestalis. n. 65, p. 150-161. Jun. 2004.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. 1nd ed. São Paulo: Nobel, 2000.

CINCOTTO, M. A., CARNEIRO, A. M. P. Estudo da influência da distribuição granulométrica nas propriedades de argamassas dosadas por curva granulométrica. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DA TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III.**, 1999, Vitória. Anais...Vitória: ANTAC, 1999. p. 3-26.

COUTTS, R. S. P.; WARDEN, P.G. The effect of casting pressure on the properties of wood fiber reinforced plaster, CSIRO, Division of Chemical and Wood Technology, Private Bag 10, Clayton, Victoria, Australia – **Journal of Materials Science Letters**, vol. 7, nº9, p. 918-921,1988.

DOS ANJOS, M. A. S; GHAVAMI, K; BARBOSA, N.P. Compósitos à base de cimento reforçados com polpa celulósica de Bambu: parte I determinação do reforço ótimo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2003

FIORITO, A. J. S. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**, 4 ed. São Paulo: Pini, 2003. 223 p.

GODOY, E. H. P.; BARROS, M. M. S. B. Argamassas modificadas com polímeros para contrapisos de edifícios. In: **Congresso latino-Americano de Tecnologia e Gestão na produção de edifícios**. São Paulo: Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 1998, p. 55-63.

GODOY, Eduardo. H. P. **Contrapisos de argamassa de cimento Portland e polímeros como camada promotora de estanqueidade de pisos de edifícios**. 1999. 181 f. Dissertação (Mestrado) – Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

GRANDI, Luiz Alfredo Cotini. **Placas pre-moldadas de argamassa de cimento e po de serra**. 1995. 164 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GRANDI, Luiz Alfredo Cotini. Características físicas do agregado vegetal para aplicação em argamassas e compósitos de cimento Portland. In: **II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, Salvador, BA, p.76-86, 1997.

HACHMI, M.; MOSLEMI, A. A. Correlation between wood-cement compatibility wood extratives. **Forest Products Journal**. V.39, n.6, 1989

LATORRACA, João Vicente de Figueiredo. **Eucalyptus sp. Na produção de painéis de cimento madeira**. 2000. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade federal do Paraná, Curitiba.

LEE, A. W.C. Effect of cement/wood ratios on bending properties of cement-bonded southern pine excelsior board. **Wood and Fiber Science**. V. 17, n. 3, p. 361-364.

LIMA, A.F.; JARÁ, E. R. P.; ALFONSO, V. A. Madeira como matéria-prima para fabricação de pasta celulósica. In: PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L.O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. p.129-167.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos.** São Paulo, 1998. 39p.

NEVILLE, Adam. **Propriedades do concreto.** 1nd ed. São Paulo: Pini, 1982. 738p.

PIMENTEL, Lia Lorena. **Telhas onduladas à base de cimento portland e resíduos de pinus caribaea.** 2000. 67f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PIMENTEL, Lia Lorena; BERALDO, Antonio Ludovico. Compósito fibra vegetal-cimento e tratado com aditivos. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3., 2003, São Carlos, SP. 2003. 12 p.

PIMENTEL, Lia Lorena. **Durabilidade de argamassas modificadas com polímeros e reforçadas com fibras vegetais.** Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2004.

RAVEN, P. H. et al. **Biologia vegetal.** 6^a ed. Rio de Janeiro: editora Guanabara, 2001.

VALVERDE, F. M. Agregados para construção civil. Balanço Mineral Brasileiro, 2001.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; AGOPYAN, V.; L. OLIVEIRA. Estudo da microestrutura e de suas implicações sobre o desempenho de compósitos cimentícios. Eng. Agrícola. Jaboticabal. v.17, n. 1. p113-124, setembro. 1997.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural silico-calcária,** 1984. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SIMATUPANG, M. H.; SEDDIG, N.; HABIGHORST, C; GEIMER, R. Technologies for rapid productions of mineral bonded wood composite boards. In: **Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials.** Session I: new Development in Mineral-Bonded wood and fiber composites. USA. 1991. p. 18-17.

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

STANCATO, A. C.. **Caracterização de compósitos à base de resíduos vegetais e argamassa de cimento modificada pela adição de polímeros para a fabricação de blocos vazados.** 2006. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

SWAMY, R. N.. Vegetable fiber reinforced cement composites – a false dream or potencial reality?. **Proceedings of second International RILEM Symposium.** Proceedings 7. Edited by H. S. Sobral. Salvador, Bahia, Brazil. September, 17-21, 1990.

ZUCCO, L. L. **Estudo da viabilidade de fabricação de placas de compósitos à base de cimento e casca de arroz.** 1989. 118f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

9 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**, Boletim Técnico – 106. São Paulo. 1997. 22p.

ANON. The mechanics of woods. **Mechanical Engineering**, New York, v 126, n. 7, p. 40-41, Jul. 2004

ANON. Wood fiber is popular. **Recycled Paper News**. New York, v. 13, n. 9, p. 8, Jun. 2003.

BARNES, Derek. Orientation of OSB and particleboard strands for high-strength oriented strand lumber and panel products. **Forest Products Journal**, United States, v. 52, n. 9, p. 31-39. Sep. 2002.

BROWNING, B.L. **The chemistry of wood**. 2nd ed. R.E. Krieger: Bertie Lee Browning, 1975. 697p.

DOROUDIANI, Saeed; KORTSCHOT, Mark T. Expanded wood fiber polystyrene composites: Processing-structure-mechanical properties relationships. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**. Canada, v. 17, n. 1, p. 13-30, Jan, 2004.

ENGLUND, Karl R.; WOLCOTT, Michael P.; HERMANSON, John C. The compression of wood/thermoplastic fiber mats during consolidation. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**. United States, v. 35, n. 2, p. 273-279, Feb. 2004.

FRIED, Harald. OSB development in Europe. In: International Particleboard/Composite Materials Symposium Proceedings, 35, 2001, Pullman. **Composite Materials Symposium**. Pullman: Washington State University, 2001. v. 1, p. 109-114.

LANGE, H.; SIMATUPANG, M.H.; NEUNAUER, A. **Influence of latent hydraulic binders on the properties of wood-cement composite**. In: Inorganic bonded Wood and Fiber Composite Materials. Session II: Raw material considerations. USA. VOL. I, 1989. p. 48-72.

HABIGHORST, Ch. New cement board technologies. In: Proceedings of the 1998 32nd International Particleboard/Composite Materials Symposium, 32, 1998, Pullman. **Composite Materials Symposium**. Madison: Forest Products Soc., 1998, v. 1, p. 129-134.

HANNANT,D.J. **Fibre cements and fibre concretes**. 2 nd ed. Chichester : J. Wiley, 1986.

HUANG, Chen; COOPER, Paul A. Cement-bonded particleboards using CCA-treated wood removed from service. **Forest Products Journal**, United States, v. 50, n. 6, p. 49-56, Jun. 2000.

KARAM, Gebran N.; GIBSON, Lorna J. Evaluation of Commercial Wood-Cement Composites for Sandwich-Panel Facing. **Journal of Materials in Civil Engineering**, Cambridge, V. 6, N. 1, p 100-116, Feb. 1994.

NOBILE, Alexandre A.; DEMARZO, Mauro A.(Orient.). **Diretrizes para a sustentabilidade ambiental em empreendimentos habitacionais**. 2003. 386p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas.

PEREIRA, José Aranha; MAINIERE, Calvino. **Madeiras do Brasil** : sua caracterização, usos comuns e índices qualificativos físicos e mecânicos. 2 nd ed. [São Paulo] : Instituto Nacional do Pinho ; Instituto de Pesquisas Tecnológicas (SP), [19--].

RYDER, J.F. The use of small brickwork panels for testing mortars, Transaction of the British Ceramic Society, V.62, p. 615-627, Aug. 1996

SCHMIDT, Murilo Viganico; GLEIZE, Philippe Jean Paul; GÓMEZ, Luis Alberto. Metodologia para avaliação da ocorrência de fissuração em argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA , 5, 2003, São Paulo. 2003. p. 243-249.

ZARDO, Anderson Maciel; MARTELLO, Luciane Silva; SAVASTANO JR., Holmer. Utilização da cinza de bagaço cana-de-açúcar como "filler" em compostos de fibrocimento . In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 10., 2004, São Paulo, SP. **Encontro Nacional de Tecnologia do ambiente construído**, São Paulo, SP. 2004. 13 p.

WEI, Yi Min; ZHOU, Yia Guang; TOMITA, Bunichiro. Study of hydration behavior of wood cement-based composite II: Effect of chemical additives on the hydration characteristics and strengths of wood-cement composites. **Journal of Wood Science**, TOKYO, V. 46, N. 6, p. 444-451, 2000.