

COMPÓSITO FIBRA VEGETAL-CIMENTO E TRATADO COM ADITIVOS

Lia Lorena Pimentel (lialp@agr.unicamp.br) Eng. Civil Doutoranda do programa de Pós Graduação em Construções Rurais e Ambiente da Faculdade de Engenharia Agrícola / Unicamp

Antonio Ludovico Beraldo (beraldo@agr.unicamp.br) Prof. Associado da Faculdade de Engenharia Agrícola / Unicamp

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal analisar o comportamento físico e mecânico de argamassa reforçada com resíduos de *Pinus caribaea* e tratada com aditivos comerciais: impermeabilizante e plastificante. Foram avaliadas a capacidade de absorção total e por capilaridade, o índice de vazios e a resistência à compressão simples e à tração na compressão diametral. A utilização destes aditivos visava a obtenção de uma argamassa menos permeável a fim de melhorar a durabilidade das partículas vegetais na argamassa. O ensaio de ultra-som foi aplicado a todos os corpos-de-prova antes de submetê-los aos ensaios mecânicos para verificar possível correlação entre a resistência mecânica e a velocidade de propagação da onda ultra-sônica. Os resultados indicaram que a utilização do produto impermeabilizante reduziu significativamente a capacidade de absorção da argamassa. O tratamento com o aditivo plastificante com incorporador de ar tornou a argamassa mais permeável em relação à argamassa testemunha. Com relação à resistência mecânica não ocorreram diferenças significativas entre as diferentes misturas testadas.

Palavras chave: cimento Portland, compósitos cimentícios, fibra vegetal, ultra-som, aditivos

VEGETABLE FIBER CEMENT COMPOSITES TREATED WITH ADDITIVES

ABSTRACT

The aim of this work was to observe the physical and mechanical performance of mortar with addition of *Pinus caribaea* particles. The mortars were treated with commercial admixtures: waterproofing and plasticizer. These admixtures were used in order to obtain a more durable composite. The composite properties observed were absorption by immersion and by capillarity, compressive strength and tensile strength by Brazilian Test. Ultrasonic speed wave determination was applied to the samples before mechanical tests. The tests results showed that the use of water proofing admixture improved the absorption capacity of the mortar. The mortar using plasticizer became the mortar more permeable than the sample mortar. There was no difference in mechanical properties of all mortars used in this work.

Keywords: Portland cement, vegetal fibbers composites, ultrasonics, additives

1. INTRODUÇÃO

Segundo SWAMY (2000), o desenvolvimento sustentável proposto como modelo para proteger o meio ambiente da degradação, pressupõe uma série de medidas que visam o não esgotamento dos recursos naturais, minimizar a poluição, diminuir o consumo de energia e promover a reciclagem ou reutilização do material produzido. Dentro deste contexto, o desenvolvimento sustentável para a indústria do concreto não pode se resumir simplesmente à utilização de resíduos e subprodutos da agroindústria. Esta é uma etapa importante em direção à sustentabilidade, porém é necessário também que a construção com o concreto seja vista como uma atividade global e holística, integrando as características do material e a performance estrutural. Vários aspectos devem ser abordados, desde o projeto conceitual à seleção de materiais, da fabricação do concreto ao cálculo estrutural, considerando também o ciclo de vida útil, a conservação, a demolição e a reciclagem ou reuso do material. Nota-se, então, que em todo o processo existe uma preocupação quanto à durabilidade do produto, desde o projeto e o cálculo estrutural, até as características do material e das matérias-primas utilizadas.

As ações da indústria da construção brasileira estão orientadas para uma série de tendências que paulatinamente são implementadas nesse setor. Uma delas é a economia de materiais no processo produtivo, principalmente quando estes provem de recursos não renováveis. Este contexto é favorável para as linhas de investigação que têm como objetivo a recuperação de resíduos originários de materiais de construção, caracterizáveis na forma de entulhos e também decorrentes de outros setores industriais (FERREIRA, 1998).

Pesquisas realizadas inicialmente na França constataram que a aspiração da fibra de amianto pode levar à formação de câncer de pulmão, principalmente entre aqueles que manipulam o material durante sua fabricação; também foi constatada a elevada incidência da doença entre pessoas que estão constantemente em contato com revestimentos de amianto (SCHMIDT, 2001). A proibição do uso do cimento amianto em países como França, Canadá e, mais recentemente, inclusive no Brasil, está desencadeando um crescente número de pesquisas que visam a substituição desse polêmico material.

Sendo o Brasil um país com tendência à produção agrícola devido as suas características de solo, clima e dimensões continentais, prevê-se grande geração de resíduos agro-industriais. Estas características, aliadas à proibição do uso do amianto, impulsionam a pesquisa para aproveitamento de fibras vegetais, caracterizando a busca por uma tecnologia apropriada e uma economia sustentável, pois se reúne em um único objetivo as esferas técnica, social, política, econômica, ética e ambiental.

Esse tipo de tecnologia enfrenta muitas dificuldades até sua implantação, como problemas inerentes às características físico-químicas das fibras; a inexistência de um procedimento em nível laboratorial que se assemelhe aos processos industriais de produção de elementos construtivos delgados e a falta de comprovação da durabilidade desses elementos, uma vez que os ensaios de envelhecimento acelerado não traduzem uma correlação com o envelhecimento natural, pois este depende das condições climáticas e do nível de poluição de cada região, trazendo os resultados desconfiança ao usuário final.

Outra dificuldade encontrada é a difusão de novas tecnologias, principalmente na área habitacional. A idéia equivocada que se tem de que uma tecnologia alternativa seja mais

simples do que a convencional acarreta, geralmente, o seu uso inadequado trazendo resultados insatisfatórios que depõem contra ela (ABIKO, no prelo).

Um dos maiores obstáculos à disseminação do uso de compósitos biomassa vegetal-cimento em construções refere-se ao inadequado comportamento da maioria das espécies vegetais em presença da pasta de cimento. Os principais constituintes da madeira são a celulose, a hemicelulose e a lignina; além destes a madeira contém numerosas substâncias naturais tais como taninos, extrativos e resinas. A composição química da madeira pode ser influenciada pela sua origem, sua idade e a espécie (PIMIENTA et al., 1994), o que torna esta matéria-prima não homogênea, dificultando sua utilização em um processo industrial.

Produtos à base de aglomerantes inorgânicos e madeira começaram a ser produzidos a partir da década de 30, sob forma de painéis leves de madeira e magnésita. O desenvolvimento da tecnologia para a utilização de resíduos de madeira com aglomerantes orgânicos efetuou-se mais rapidamente do que a utilização dessa matéria prima vegetal com aglomerantes minerais (BERALDO, 1997).

SAVASTANO e PIMENTEL (2000) salientaram que em todo o mundo, esses fibrocimentos alternativos já fazem parte de programas de transferência tecnológica, especialmente no que se refere aos sistemas de cobertura de baixo custo, também reportado por GRAM et al. (1994).

A indústria Faber Castell, situada em São Carlos – SP, gera com a produção de lápis uma quantidade de aproximadamente 2000 t/mês de resíduos, constituídos basicamente por partículas de *Pinus caribaea*, madeira de reflorestamento utilizada pela indústria.

A opção pelo uso deste tipo de resíduo, foi definida pela diminuição no número das possíveis variáveis que influenciam na questão da incompatibilidade química entre biomassa vegetal e o cimento, como a padronização da idade de corte e da granulometria do resíduo que é regular em cada etapa de fabricação, e a não ocorrência de mistura de espécies.

O desenvolvimento de compósitos biomassa vegetal-cimento passa por uma série de questões básicas a serem solucionadas abrangendo desde a necessidade de um estudo geo-econômico para verificar a potencialidade do resíduo como matéria-prima para fabricação de compósitos; minimizar a incompatibilidade química entre o resíduo e a matriz cimentícia; fazer com que o elemento construtivo atenda às especificações físicas e mecânicas e de durabilidade de elementos construtivos similares existentes no mercado.

Os romanos já empregavam em suas obras certas substâncias hoje denominadas de aditivos: albumina (sangue e clara de ovos) e o álcalis (a cal). No Brasil, observa-se em muitas cidades históricas que existem igrejas, pontes, etc em estado de conservação de forma espetacular, devido ao uso de plastificantes, como o óleo de baleia, nas argamassas.

Aditivos são produtos que adicionados ao concreto ou argamassas, têm a função de modificar as propriedades físicas dos mesmos, de modo a facilitar seu manuseio e emprego, oferecendo dessa maneira vantagens que naturalmente não são obtidas confeccionando-se traços normais.

Os aditivos são classificados em aceleradores, retardadores, plastificantes, incorporadores de ar, superfluidificantes e impermeabilizantes. Os aceleradores podem ser de pega ou de endurecimento, o primeiro reduz o tempo de pega e o segundo promove resistência inicial

mais rápida. Os retardadores diminuem a velocidade de hidratação, permitindo por maior período de tempo que a mistura tenha trabalhabilidade. Os plastificantes quando adicionados a um concreto de mesma relação a/c promovem maior trabalhabilidade, também é possível reduzir a relação a/c e manter a trabalhabilidade, por isso tais produtos podem também ser classificados como redutores de água. Os superfluidificantes são plastificantes de capacidade de redução da relação a/c muito superiores. Os incorporadores de ar formam microbolhas de ar homoganeamente dispersas no material; têm a função primordial de suprir a deficiência de finos aumentar a trabalhabilidade, reduzir a segregação e aumentar a impermeabilidade. Nos países com inverno rigoroso, os incorporadores de ar são de grande utilidade em argamassas e concretos, pois as microbolhas de ar presentes permitem que a água que penetrou no concreto ou argamassa possa expandir com o congelamento, sem provocar fissuras e trincas. Os aditivos impermeabilizantes reforçam a impermeabilidade do concreto ao formar nos seus poros uma fina película higroscópica, além de tamponá-los parcialmente. Entretanto, é necessário também reduzir ao máximo sua relação a/c e, conseqüentemente, a sua porosidade (IPT, 1983).

2. MATERIAIS E METODOS

2.1. Caracterização dos Materiais

Os materiais utilizados foram os agregados formados pelas partículas de *Pinus caribaea* denominada serragem e proveniente da unidade da Faber Castel em Prata MG; a areia lavada de rio; o aglomerante empregado foi o cimento Portland de alta resistência inicial; CP V-ARI, da marca CIMINAS e os aditivos fornecidos pela empresa VIAPOL: Viacal (plastificante com incorporador de ar) e Viapol contra umidade (impermeabilizante).

Agregado vegetal e mineral

O resíduo vegetal e a areia natural, tiveram suas curvas granulométricas determinadas conforme recomenda a NBR 7217 (1987). No entanto, o resíduo vegetal não foi classificado como um “agregado”, pois suas partículas não apresentam grãos arredondados como os agregados minerais, sendo observada apenas sua distribuição por tamanho. O resíduo vegetal utilizado apresentava partículas de formas variadas, indo desde o pó-de-serra até partículas compridas e espiraladas. A Figura 1 apresenta a curva “granulométrica” das partículas do resíduo vegetal.

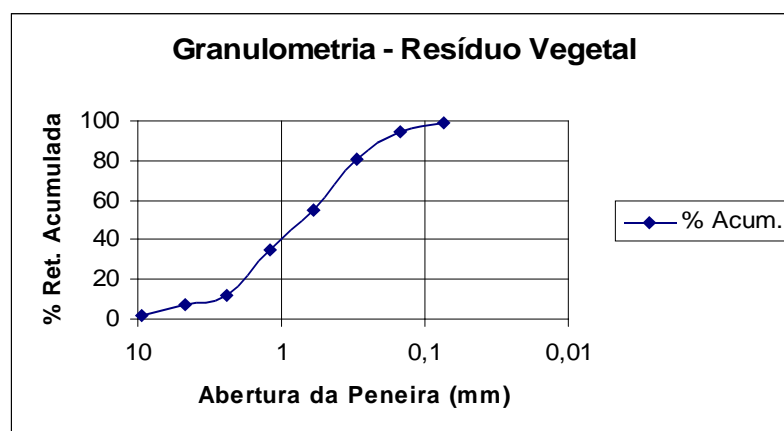


Figura 1. Curva Granulométrica - Resíduo vegetal.

A análise granulométrica do agregado mineral é apresentada na Figura 2.

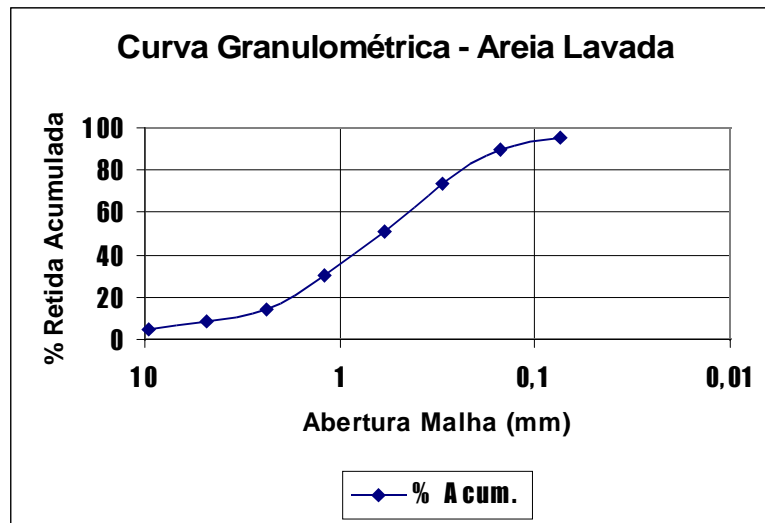


Figura 2- Distribuição granulométrica do agregado mineral.

Segundo a NBR 7211 (1983), que estabelece limites granulométricos para o agregado miúdo em função das porcentagens retidas acumuladas, este material pode ser classificado como sendo uma areia média.

Aditivos

Os aditivos empregados no trabalho experimental foram Viacal (plastificante com incorporador de ar) e Viapol contra umidade (impermeabilizante).

2.2. Metodologia

Misturas experimentais

Definiu-se pela utilização da proporção de mistura em massa 1:1,5:0,15 (cimento:areia:resíduo) e relação a/c = 0,80. Essa proporção foi escolhida em função de já ter sido empregada em trabalho anterior (PIMENTEL, 2000), visando o aproveitamento do mesmo resíduo. A nomenclatura empregada para identificar as misturas está detalhada no Quadro 1.

Quadro 1 - Misturas experimentais

Fator	Misturas experimentais	Nomenclatura
Tratamento químico	Testemunho	VT
	Viapol Contra Umidade 15%	VI
	Viacal 5%	VP

Moldagem, cura e ruptura dos corpos-de-prova

A mistura foi executada adicionando-se inicialmente os materiais cimento, areia e madeira. Após a homogeneização destes foi adicionada a água com o aditivo previamente misturado. A moldagem dos corpos-de-prova foi efetuada em 3 camadas, compactadas com golpes de espátula de 2 cm de largura e 1 mm de espessura. Esse procedimento foi utilizado de forma a permitir a ligação entre as camadas através do posicionamento das fibras, o que não ocorreria com o uso do soquete normatizado. O processo de cura consistiu em, imediatamente após a moldagem, colocar as fôrmas em câmara úmida por um período de 24 horas. Após esse

período, os corpos-de-prova foram desmoldados e permaneceram em câmara úmida até atingirem a idade de 7 dias. A partir dessa idade a cura prosseguiu ao ar livre até que os corpos-de-prova atingissem as idades de ensaio.

O ensaio de ruptura dos corpos-de-prova à compressão axial foi conduzido segundo as recomendações da norma NBR 7215 (1996). Os corpos-de-prova foram ensaiados, aos 28 dias de idade, em máquina universal de ensaios, marca VEB Werkstoffprüfmaschinen, do Departamento de Máquinas Agrícolas da FEAGRI – UNICAMP.

A resistência à tração foi determinada por compressão diametral, segundo NBR 7222 (1994), para corpos-de-prova com idade de 28 dias.

Absorção

Foram moldados corpos-de-prova para o ensaio de absorção total e para a determinação do Índice de vazios, conforme a NBR 9778 (1987) para idade de 56 dias.

O ensaio de absorção por capilaridade e a determinação dos índices de resistência à penetração de água e sorção, foram determinados para idades de 28 e 56 dias, conforme procedimentos estipulados no manual CYTED (1998), no que concerne ao ensaio de argamassa. Os corpos-de-prova foram secos em estufa até constância de massa; em seguida a sua face lateral foi impermeabilizada. Após a secagem do impermeabilizante os corpos-de-prova foram dispostos sobre suportes que permitiam o contato da água com a face inferior do mesmo. O nível de água foi mantido constante em 1 cm acima da face inferior do corpo-de-prova. O coeficiente de absorção por capilaridade (K) foi calculado como sendo:

$$k = \frac{(A - B) / S}{\sqrt{T}} \quad (\text{g} / \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{1/2}) \quad (1)$$

Onde:

A = Massa do corpo-de-prova depois de determinado período de tempo (g);

B = Massa do corpo-de-prova seco (g);

S = Área da seção transversal do corpo-de-prova (cm²);

T = Tempo do ensaio (s).

O coeficiente de resistência à penetração da água (M), foi calculado como sendo:

$$M = \frac{T}{Z^2} \quad (\text{h} / \text{mm}^2) \quad (2)$$

Onde:

T = Tempo do ensaio (h);

Z = Profundidade de penetração da água (mm).

A Sorção capilar (S) foi calculada como sendo:

$$S = \frac{1}{\sqrt{M}} \quad (\text{mm} / \text{h}^{1/2}) \quad (3)$$

Onde:

M = Coeficiente de resistência à penetração de água (h/mm²)

Ultra-som

Na medição do tempo de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova cilíndricos, utilizou-se o equipamento Ultrasonic Tester, modelo BP-7, da STEINKAMP, com transdutores exponenciais com frequência de ressonância de 45 kHz. Mediu-se o tempo de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova, na direção longitudinal, antes de submetê-los aos ensaios para a determinação das resistências à compressão axial e à tração

por compressão diametral. Assim, procurou-se observar a existência de correlação entre os resultados dos ensaios (tensões de ruptura) e os resultados obtidos no ensaio de ultra-som (velocidade de propagação da onda).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Absorção por Capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade indicou melhora significativa para argamassas tratadas com impermeabilizante; os resultados aos 56 dias indicaram a mesma tendência observada aos 21 dias. Nas Figuras 3 e 4 apresentam-se os resultados obtidos para as idades 21 dias e 56 dias, respectivamente.

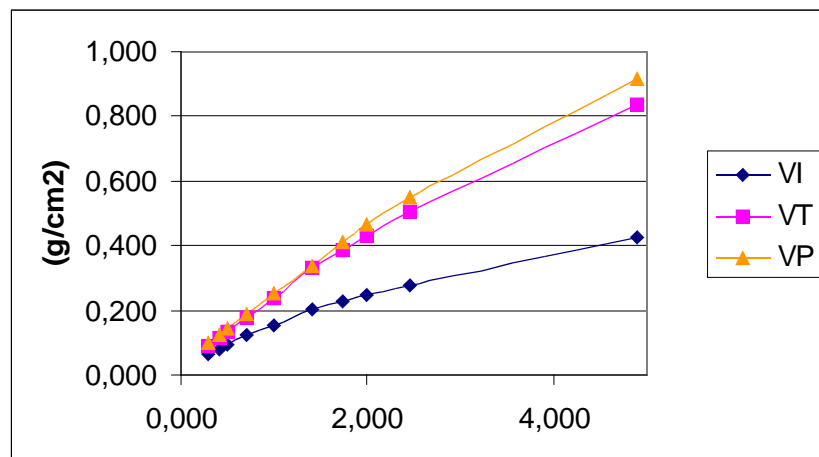


Figura 3 Absorção por capilaridade aos 21 dias.

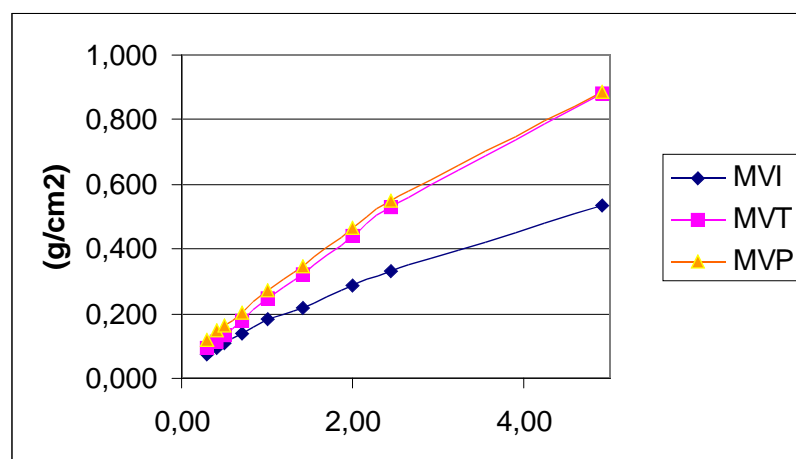


Figura 4 Absorção por capilaridade aos 56 dias.

Sorção

Para a capacidade de ascensão capilar, chamada de sorção, os resultados indicaram que a argamassa tratada com impermeabilizante apresentou menor permeabilidade, enquanto a argamassa tratada com plastificante apresentou resultado inferior inclusive ao da testemunha aos 21 dias de idade, como pode ser observado na Figura 5. Após 56 dias os resultados mantiveram a mesma tendência (Figura 6).

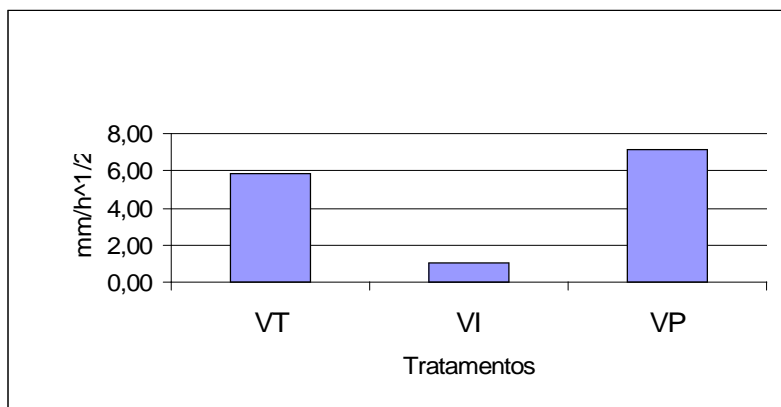


Figura 5. Sorção aos 21 dias.

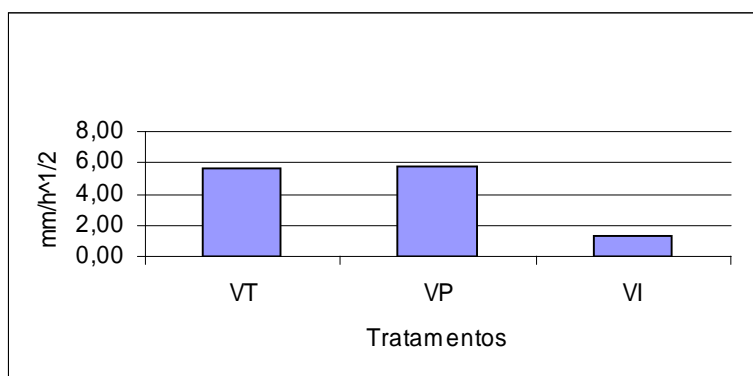


Figura 6. Sorção aos 56 dias.

Resistência. à penetração

A argamassa tratada com impermeabilizante apresentou maior resistência à penetração de água como pode ser observado na Figura 7 para ensaio aos 21 dias de idade. A tendência se manteve ao longo do tempo como pode ser observado na Figura 8 para ensaio aos 56 dias de idade. Observou-se também que houve uma sensível queda na capacidade de resistência à penetração da água para a argamassa tratada com impermeabilizante ao longo do tempo.

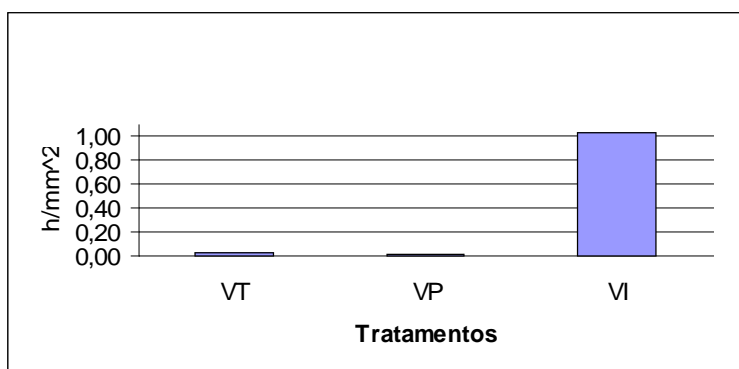


Figura 7. Resistência à penetração de água aos 21 dias.

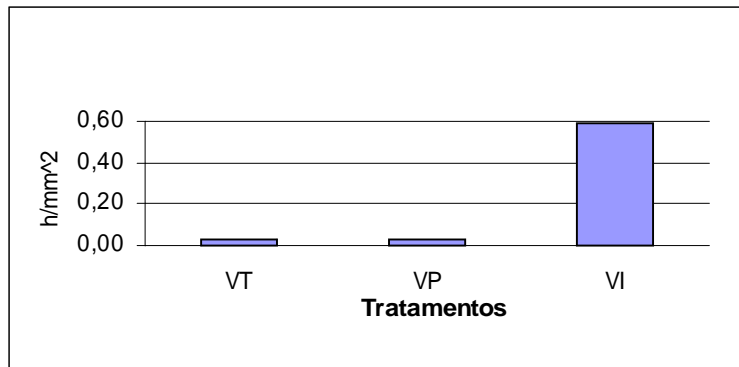


Figura 8. Resistência à Penetração aos 56 dias.

O ensaio para determinação do Índice de vazios indica que o tratamento com impermeabilizante apresentou resultado significativamente inferior aos demais tratamentos.

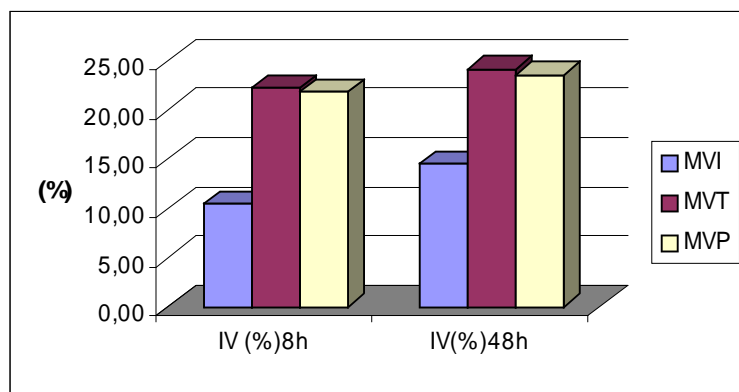


Figura 9 Índice de Vazios.

Absorção total

O ensaio de absorção por imersão indica que o tratamento com impermeabilizante apresenta menor capacidade de absorção que os demais tratamentos como pode ser observado no gráfico da Figura 10.

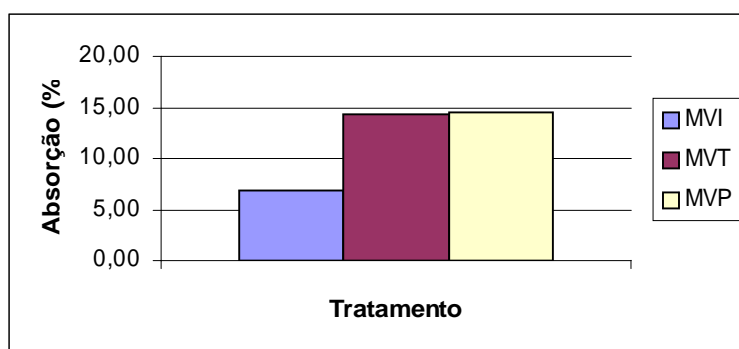


Figura 10 Absorção por Imersão.

Resistência Mecânica

O tratamento VI (impermeabilizante) apresentou melhor desempenho do que os tratamentos VP (plastificante) e VT (testemunho) para a resistência à tração obtida por compressão diametral. Na Figura 11 apresentam-se os resultados médios de cada tratamento.

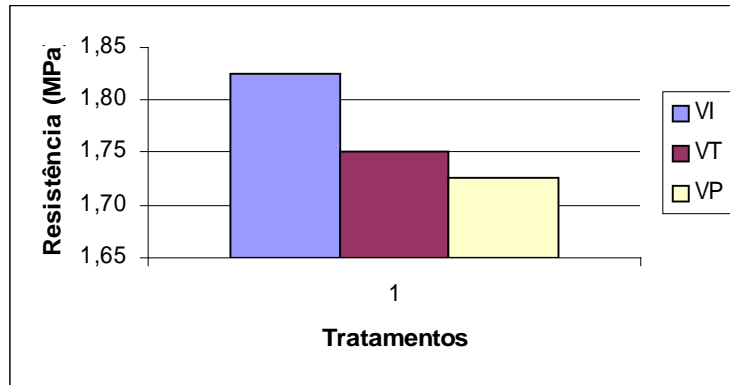


Figura 11 Resultados da resistência à tração por compressão diametral.

Os resultados do ensaio de compressão axial simples não apresentaram diferenças significativas conforme mostra a Figura 12, apresentando valores em torno de 12 MPa, valor este que pode ser adequado para paredes não portantes e para pisos submetidos a pequeno tráfego.

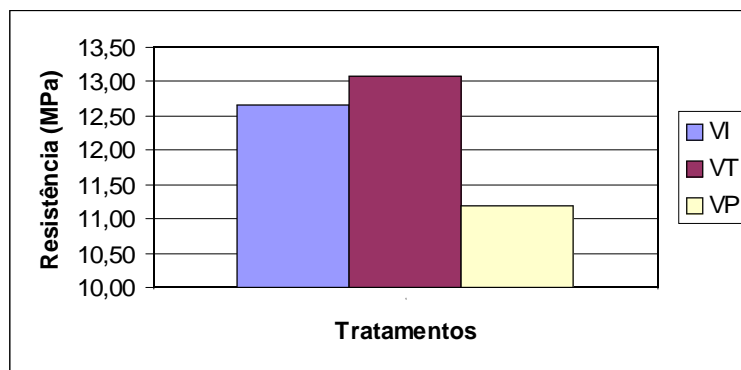


Figura 12 Resistência à Compressão.

Ultra-som

Os resultados obtidos para a velocidade de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova foram relacionados com as propriedades mecânicas obtidas para os três tratamentos da argamassa reforçada com fibra vegetal e aditivos.

Os valores obtidos de R^2 calculados para uma regressão linear estão listados no Quadro 2 e indicaram não haver correlação entre a velocidade e a resistência à compressão e a resistência à tração por compressão diametral, exceto para o tratamento VI quando este foi relacionado com a resistência à compressão simples.

Quadro 2 – Resultados da Regressão Linear.

Esforço	Idade (dias)	Tratamento	R^2
Compressão simples	28	T	0,27
		VI	0,88
		VP	0,42
Tração por compressão diametral	28	T	0,60
		VI	0,06
		VP	0,42

4. CONCLUSÕES

A partir das condições nas quais foram realizados os ensaios, verificou-se que o aditivo impermeabilizante pode trazer benefícios à durabilidade de compósitos cimentícios, pois reduziu em aproximadamente 50% a capacidade de absorção da argamassa, isto foi observado tanto através do ensaio de absorção por imersão como pelo ensaio de absorção por capilaridade. Observou-se também um aumento na capacidade de absorção da argamassa tratada com impermeabilizante entre o ensaio a idade de 21 dias e o ensaio executado aos 56 dias de idade.

O ensaio de absorção por capilaridade mostrou-se mais sensível do que o ensaio de absorção por imersão, além de representar melhor as condições de uso dos elementos construtivos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda se faz necessário uma avaliação mais detalhada sobre a durabilidade das fibras vegetais e do compósito, o que demanda a necessidade da execução de ensaios de envelhecimento natural e acelerado, a utilização de microscopia óptica e eletrônica de varredura, para avaliação mais detalhada desta característica.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. Rio de Janeiro

NBR 7211 Agregados para Concreto, especificação, 1983.5pp.

NBR 7215 Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão, método de ensaio, 1996, 8pp.

NBR 7217 Agregados: Determinação da composição granulométrica, método de ensaio, 1987, 3pp.

NBR 7222 – Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos, Método de Ensaio, 1994, 3pp.

NBR 9778 Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água ou imersão – índice de vazios e massa específica, 1987, 3pp.

ABIKO, A K., Tecnologias apropriadas em construção civil, Editora da Unicamp, no prelo.

BERALDO, A. L.(1997) **Compósitos Biomassa vegetal–Cimento**. In: Simpósio sobre Materiais Não Convencionais para Construções Rurais, Campina Grande, UFPB, Editores Romildo Dias Toledo Filho, José Wallace Barbosa do Nascimento, Khosrow Ghavami, cap. 1, p. 01-48, 1997.

FERREIRA, O. P. (1998), Produtos e tecnologias existentes para a construção da cobertura de habitações no Brasil, III Simpósio Ibero-Americano de telhados para habitação, p. 29-59.

CYTED (1998), **Manual de inspeccion, evaluacion y diagnostico de corrosion en estructuras de hormigon armado**, p. 28 - 47.

GRAM, H; CUT, P. (1994) Directives pour le contrôle de qualité. St. Gallen: SKAT/BIT, Serie Pedagogique TFM/TVM, Outil 23, p. 69.

IPT - Tecnologia de Aditivos. Apostila do curso realizado em março de 1983, vol. 1, p.163, 1983.

PIMENTEL, L. P. (2000) **Telhas onduladas à base de cimento Portland e resíduos de *Pinus caribaea*** Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola, FEAGRI - UNICAMP, Campinas SP, p. 67, 2000.

PIMIENTA, P.; CHANDELLIER, J.; RUBAUD, M.; DUTREL, F.; NICOLE, H. (1994), In: "Étude de faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois"; CAHIERS DU CSTB, p. 12-36.

SAVASTANO, H. J; PIMENTEL, L. L.(2000) **Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção**, Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental, Campina Grande PB, DEAg / UFPB, v. 4, n. 1, p. 103-110.

SCHMIDT, W., (2001), "Amianto. De herói a vilão". Revista CREA, ano 1, n. 1, p. 22.

SWAMY, R. N., (2000), Sustainable concrete for infrastructure regeneration and reconstruction, In Proceeding of the International Conference, João Pessoa-PB, Universidade Federal da Paraíba, p 15-44.