

EFEITO DE VARIÁVEIS NAS CARACTERÍSTICAS DE COMPÓSITO EUCALIPTO-CIMENTO

A. L. BERALDO & J.V. CARVALHO

Faculdade de Engenharia Agrícola
Universidade Estadual de Campinas
Cidade Universitária Zeferino Vaz BP 6011
13083-970-Campinas-SP-Brasil
beraldo@agr.unicamp.br

ABSTRACT- Several parameters related to wood-cement composites compression strength were evaluated in this research. Results show the influence of cement type, age and season choice in *Eucalyptus* tree cutting on composite performance.

KEYWORDS- wood, cement, composites

RESUMEN- Neste trabalho avaliou-se os efeitos da idade e da época de corte de toras de *E. grandis*, da posição de amostragem, do tipo de cimento empregado (CP II-E-32 e CP V-ARI) e de tratamentos realizados, sobre a resistência à compressão de compósitos madeira-cimento. Os resultados indicaram o efeito significativo da natureza do cimento adotado, da idade e da época de abate da tora, além da interação entre esses fatores.

PALAVRAS CLAVE- madeira, cimento, compositos

INTRODUCCIÓN

Devido à exaustão das reservas florestais nativas, decorrente da expansão da fronteira agropecuária e da forte demanda de matéria prima para a fabricação de carvão, para queima, ou para a construção civil, o Governo Brasileiro tomou sérias providências para impedir a exploração descontrolada dos recursos florestais naturais, incentivando programas de reflorestamento.

Dentre as diversas possibilidades, o eucalipto despertou o interesse de uma grande gama de empresários brasileiros. Segundo a Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS), até 1996 existiam cerca de 3,0 milhões de hectares plantados em diversos Estados brasileiros (Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul, Espírito Santo, dentre outros).

O Brasil possui grande acúmulo de conhecimentos científicos e tecnológicos, desencadeados com a implantação deste gênero florestal, por empresas e produtores rurais, bem como no que diz respeito à industrialização, processamento mecânico da madeira e de seus subprodutos.

No meio rural, os requisitos para a seleção dos materiais utilizados em construções, assim como, as especificidades

dos projetos construtivos, deixam em aberto um imenso campo de pesquisas no intuito de reduzir os custos das instalações. Granjas, pocilgas e outras instalações podem se tornar um importante alvo para a inserção de materiais não convencionais, favorecidos pela vantagem da presença da enorme gama de resíduos vegetais e da disponibilidade local de cimento Portland.

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Nos anos 30 foram obtidos grandes avanços com a fabricação de produtos à base de cimento e madeira. Esses painéis foram conhecidos como "Excelsior" (USA) e "Heraklit" (Europa). Já nos anos 50, várias patentes foram registradas pela indústria Elmendorf. A maioria das fábricas de painéis madeira-cimento utiliza tais patentes (Dinwoodie & Paxton, 1984).

No entanto, nos últimos 40-50 anos o desenvolvimento de compósitos foi muito lento quando comparado, principalmente, ao dos compósitos à base de aglomerantes orgânicos (compensados, aglomerados e chapas de partículas).

Compósitos biomassa vegetal-cimento (CBVC) apresentam grande potencial de

aplicação em construções devido às suas características, tais como:

- disponibilidade de matéria-prima renovável, possibilitando o aproveitamento de enorme gama de resíduos;
- massa específica reduzida;
- boa resistência a agentes degradantes;
- facilidade de moldagem, transporte, corte;
- resistência a impactos;
- bom isolamento termo-acústico.

As propriedades do CBVC dependem estreitamente da origem da matéria-prima vegetal que o constitui. Raras são as fitomassas que podem ser adicionadas *in natura* ao cimento sem que lhe causem problemas.

Além de provocar modificações consideráveis nas características físico-mecânicas de pastas e de argamassas à base de cimento, a presença de fitomassa- sobretudo em sua forma natural, acarreta importantes alterações no pH da mistura, podendo retardar ou inviabilizar totalmente a pega do cimento. Vários trabalhos publicados a esse respeito evidenciaram o efeito nefasto de fitomassas inadequadas, assim como propuseram alternativas para minimizar tal efeito (Beraldo, 1997).

Com problemas causados pela utilização de fibras de amianto, alguns países chegaram à sua proibição, a exemplo da França, em 1997. Em substituição às fibras de amianto podem ser citadas as fibras de jornais reciclados e de celulose oriundos da própria madeira *in natura* cujo custo é, sem dúvida, altamente competitivo.

As misturas madeira-cimento podem ser depositadas em fôrmas, sem sofrer pressão, ou submetidas à prensagem (combinada ou não com extrusão). Moslemi e Pfister (1987) recomendaram que, para ter eficiência no processo de fabricação do CBVC, deve-se utilizar uma relação cimento/madeira 1:0,5, com cerca de 170 kg de partículas vegetais/m³ de compósito.

Devido ao fato de que as partículas vegetais são altamente higroscópicas, as mesmas têm necessidade de ser molhadas, pois caso contrário, estas estariam aptas a absorver a água de amassamento do cimento.

Partículas vegetais devem ser selecionadas em dimensões adequadas para serem adicionadas à pasta (ou argamassa) de cimento, previamente homogeneizada.

CBVC são mais susceptíveis à falta de água do que a seu excesso. Isto significa que quantidades limitadas de água durante o amassamento, ou na preparação da mistura, dificultam sua compactação e ocasionam a heterogeneidade da mistura.

De acordo com Simatupang e Habighorst (1992), os inconvenientes demonstrados pelo CBVC são:

- incompatibilidade química com o cimento, a qual depende da natureza do material ;
- tempo de pega relativamente longo;
- durabilidade reduzida da biomassa vegetal na matriz;
- instabilidade dimensional;
- presença de eflorescências.

A principal qualidade requerida para um a biomassa vegetal é de que a mesma não seja nociva ao aglomerante utilizado. De uma maneira geral, quando há compatibilidade química entre a madeira e o cimento, a hidratação do aglomerante atinge um nível significativo, o que permite a formação de uma rede de silicatos, ligando as partículas.

Ao comportamento de cada espécie de madeira, independentemente do gênero, ao se unir com o cimento, é denominado de “compatibilidade química”. Isto significa que não se pode adicionar qualquer espécie vegetal à pasta de cimento, pois os constituintes vegetais são muito sensíveis ao meio alcalino formado durante a reação de hidratação do cimento.

Natureza da biomassa vegetal

As espécies folhosas, devido ao seu alto teor em hemicelulose, são, em geral, bem mais inibidoras que as coníferas. O teor máximo, em massa, de açúcares, tolerado pelo cimento, situa-se entre 0,4 a 0,5% para coníferas e 0,20 a 0,25% para as folhosas (Schwarz e Simatupang, 1984). O bambu é altamente inibidor da pega do cimento (Beraldo, 1997).

Condição fitossanitária

Reações inibidoras podem se desenvolver na interface madeira-cimento, ou na matriz, o que vem enfraquecer as ligações químicas e mecânicas entre madeira e cimento.

Madeiras atacadas por insetos xilófagos, tais como cupins, são altamente inibidoras à pega do cimento. No entanto,

Biblis e Lo (1968) não confirmaram tais afirmativas. Os agentes biológicos quando age sobre a madeira reduzem o efeito inibidor da pega do cimento ao transformarem açúcares em substâncias menos problemáticas ao cimento.

Quando da interação entre o cimento e a madeira, uma parte da hemicelulose começa a se solubilizar e retarda o endurecimento do cimento (Simatupang, 1986; Simatupang et al., 1988). O ataque da madeira pelos álcalis do cimento pode converter parcialmente as hemiceluloses e polímeros de açúcar, o que provoca problemas na pega do cimento.

Resinas e outras substâncias químicas podem migrar para a superfície da madeira durante o período de secagem. A formação de camada considerada hidrófoba, reduz as pontes de hidrogênio entre a madeira e o cimento, o que, sem dúvida, implica em redução da resistência na interface (Miller e Moslemi, 1991).

Compostos fenólicos, tais como taninos, apresentam também a capacidade de se combinar com os íons metálicos do cimento, o que pode impedir reações de hidratação.

A seringueira (*Hevea brasiliensis*), introduzida na Malásia, mostrou grande incompatibilidade com o cimento. Schwarz (1988) constatou que esta espécie vegetal apresenta quantidade expressiva de açúcares (1,0 a 2,3%) e de amido livre (7,5 – 10,2%).

Fischer et al., (1974) afirmaram que substâncias nocivas ao cimento são os carboidratos solúveis obtidos por difusão dos açúcares presentes na madeira, e a conversão desses açúcares em ácidos sacarídicos.

Constatou-se também que, no que diz respeito à compatibilidade química entre a biomassa vegetal e o cimento, não se deve apenas considerar a quantidade de extrativos, mas também o tipo de extrativo (ácidos graxos, taninos, carboidratos e outros). Substâncias solúveis em água apresentam um efeito mais pronunciado (Hachmi e Moslemi, 1989).

Madeiras ricas em taninos às vezes são descartadas, pois inivabilizam a fabricação dos CBVC. Conforme Pimienta et al. (1994), nenhuma teoria, por mais complexa que seja, pode ser aplicada ao efeito de todos os açúcares em presença de todos os constituintes do cimento.

Os tratamentos físicos e químicos da biomassa vegetal facilitam as interações entre os constituintes, o que permite a obtenção de

CBVC que se adeqüe à resistência mecânica desejada (Hachmi e Campbell, 1989).

Anatomia

Casca da madeira “Southern pine” foi nove vezes mais inibidora que o alburno, e 2,5 vezes mais que o cerne ou lenho morto (Biblis e Lo, 1968). Não existe incompatibilidade da celulose com o cimento, mas as hemiceluloses solúveis e os açúcares simples, ao se combinarem com íons metálicos, provocam incompatibilidade entre a madeira e o cimento (Hachmi e Campbell 1989).

Época de corte das árvores

A época de corte pode ter grande influência no que diz respeito à pega do cimento, isto porque o teor de açúcares livres, sofre alteração durante o decorrer do ano.

Segundo Fischer et al. (1974), testes realizados em diferentes alturas de árvores apresentaram diferenças significativas na distribuição dos açúcares (sacarose, glicose, frutose), em espécies coníferas alemãs. Foi constatado que, os teores em açúcares foram mais elevados nos meses de abril (Primavera) e mais baixos em agosto (Verão). Efeito mais notável foi observado sobre a frutose, que, praticamente, desapareceu na primavera.

O tempo de pega de mistura alburno-cimento foi mais longo quando as árvores foram cortadas durante a primavera, do que em condições idênticas com árvores cortadas durante o inverno (Biblis e Lo, 1968).

Árvores juvenis apresentam madeiras cuja instabilidade dimensional dos CBVC é bastante pronunciada, por possuírem pouca altura e baixo desenvolvimento do tronco em diâmetro, o que indica maior porcentagem de alburno do que de cerne.

Estocagem

O tipo de estocagem da madeira, após o corte, exerceu grande influência, na diminuição dos teores de açúcares pois, segundo (Schwarz e Simatupang, 1984), para madeira “hêtre ou faia” (*Fagus sylvatica*), o teor em açúcares passou de 0,2% (madeira pouco protegida) para 0,1% (secagem em ambiente protegido). Teores de açúcares tornam-se reduzidos devido às ações enzimáticas. As transformações dos açúcares conduzem a constituintes não inibidores ao cimento segundo (Lee et al., 1987). Não foi encontrado diferença sistemática entre a estocagem de partículas de madeira a 7 °C e ao ar livre.

Mesmo apresentando efeitos benéficos da estocagem, com a diminuição da concentração de açúcares da madeira, constatou-se que o mesmo efeito não ocorre para compostos (Simatupang, 1986; Valenzuela, 1989). Verificou-se que, após 90 dias de estocagem, o teor de açúcares da madeira foi reduzido de forma significativa, enquanto que o teor em taninos não apresentou variações.

Segundo Beraldo (1997), partículas de bambu (*Phyllostachys viridis*), estocadas durante dois anos em ambientes protegidos, tiveram quedas significativas no teor de açúcares, sem que ainda tal operação tenha se mostrado suficiente para permitir a pega do cimento.

Tipo de cimento

Considerando-se que o fenômeno da incompatibilidade química depende estreitamente da velocidade de saída dos extrativos da madeira torna-se mais adequado, no processo de fabricação, utilizar cimento de pega rápida. Beraldo e Rolim (1996) confirmaram a maior eficiência do cimento de alta resistência inicial (ARI) em relação a um cimento composto (CP II-E-32), quando da fabricação de corpos-de-prova à base de partículas de *E. citriodora*.

Tratamentos visando melhorar a compatibilidade madeira-cimento

Na grande maioria das vezes, torna-se difícil a escolha de espécies compatíveis com o cimento e, portanto, se faz necessário tratá-las com técnicas simples e confiáveis.

Conforme Simatupang et al. (1988), as técnicas mais utilizadas para proporcionar a compatibilidade entre a madeira e o cimento são:

- . maturação da madeira ou das partículas;
- . extração de componentes inibidores;
- . secagem em fornos;
- . utilização de cimento de pega rápida;
- . tratamentos de carbonatação acelerada;
- . utilização de cimento aluminoso.

A melhor maneira é adotar-se medidas coerentes que viabilizem a fabricação de CBVC, atuando isoladamente ou em conjunto sobre a biomassa vegetal e o cimento, para que os mesmos se encaixem na faixa ótima de compatibilidade.

Lavagem das partículas vegetais

A lavagem permite eliminar certa quantidade de extrativos presentes na biomassa vegetal. No entanto, a eficiência do método depende do pH da solução, da temperatura e tempo de extração, dentre outros. No entanto, avaliando a influência da lavagem das partículas na resistência à compressão simples (aos 7 dias) de CBVC, Beraldo e Rolim (1996) não observaram diferenças significativas no módulo de ruptura (MOR), quando comparadas partículas lavadas com não lavadas de *Eucalyptus citriodora*.

Tratamentos químicos

Produtos químicos também chamados de aditivos, são os mais empregados para acelerar a pega do cimento e, conseqüentemente, melhorar a resistência dos materiais fabricados (tijolos, blocos, placas, etc.).

Simatupang et al. (1978) relataram que aditivos como o cloreto de cálcio e magnésio, silicato de sódio ou potássio, em uma mistura de sulfato de alumínio e cal hidratado, são mais comumente utilizados em uma solução diluída de 1–5%.

Moslemi et al. (1983) concluíram, através de análises de hidratação, que o CaCl_2 e NaOH , forneceram melhores resultados. Observaram que, quando da adição destes dois produtos químicos (aceleradores), ocorreu uma redução significativa no tempo de reação, bem como na elevação da temperatura de hidratação do cimento.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi o de verificar a possibilidade de aproveitamento de resíduos da madeira de eucalipto de 3 idades (3 anos, 5 anos e 7 anos), que atualmente estão sendo usados na produção de energia, em indústrias de papel e celulose. Os resíduos das pontas dos troncos, cujo diâmetro esteja abaixo de 6 cm, serão o alvo principal, mas nada impede que possa haver aproveitamento total do material, incluindo aquele proveniente da base e da porção mediana do tronco, para a fabricação de compósitos à base de cimento Portland.

MATERIALES Y MÉTODOS

A natureza da fitomassa adotada, assim como as condições de estocagem a que

foi submetida antes da fabricação, influem de forma decisiva nas características do CBVC. Desse modo, visando eliminar parte dessas interferências na qualidade do CBVC, foi adotado, no presente trabalho, como fonte de matéria prima, a madeira proveniente da espécie *Eucalyptus grandis*.

A madeira foi fornecida pela empresa Champflora Agrícola Ltda, subsidiária da Champion Papel e Celulose Ltda, situada no Município de Mogi Guaçu-SP. Foram selecionadas árvores com idades de 3, 5 e 7 anos (tratamentos **3 A**, **5 A** e **7 A**). O corte efetuou-se durante os meses de dezembro/98 e julho/99.

Trabalhos de Fischer et al. (1974) evidenciaram a influência da época de abate da madeira, assim como da posição ao longo da altura da tora de onde se efetuou a amostragem, no teor e no tipo de açúcares presentes (sacarose, glicose, frutose) em madeiras coníferas alemãs. Desse modo, no presente trabalho foi adotado um procedimento similar, no momento de se efetuar a amostragem das toras.

Corte e preparação das partículas vegetais

A tora foi seccionada em toretes de 1 m, nas posições 0,125 h, 0,500 h e 0,875 h (onde h era a altura total da árvore). No campo foi efetuado o descascamento de cada tora, seguido do corte da mesma, sob forma de toretes, com o auxílio de moto-serra. A seguir, os toretes, foram identificados de acordo com suas especificações (posição ocupada ao longo do tronco, diâmetro, idade, época de abate). Parte do material original foi deixado no solo para avaliar-se o efeito da degradação biológica da madeira na qualidade do compósito. Os tratamentos foram denominados de base (**B**), meio (**M**) e ponta (**P**).

A fragmentação dos toretes foi efetuada em cepilhadeira Volpato (4 eixos – 12 facas), pertencente ao CEMIB-UNICAMP, com o intuito de produzirem-se partículas de espessura 1 mm e comprimento da ordem de 5 cm. Após secagem parcial, as partículas foram desintegradas em moinho-de-martelos Nogueira, pertencente ao Campo Experimental da FEAGRI, separadas em peneiras, e postas a secar ao ar livre, após o qual foram armazenadas em sacos plásticos.

Propriedades físicas dos agregados

Granulometria- a análise granulométrica foi feita utilizando-se 50 g do material passante

nas peneiras de malhas: 4,80, 2,40, 1,20, 0,60, 0,30, 0,15 mm e fundo. Para cada amostragem foram calculados o ϕ máximo e o módulo de finura do agregado, conforme a norma NBR 7211 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);

Massa específica aparente- a determinação da massa específica aparente foi feita com o material na condição seco ao ar e não compactado. As partículas foram colocadas em becker, com capacidade de 2,0 l, obtendo-se a massa necessária para o seu preenchimento.

Tratamentos físicos:

A maioria das espécies vegetais tem se mostrado inadequada para uso direto com o cimento Portland. Dessa forma, devem ser adotados procedimentos que busquem, em primeira instância, adequar a fitomassa à matriz. Dentre os procedimentos para análise das interferências foram escolhidos:

Época de abate: devido à limitação de tempo para a execução de ensaios foram escolhidas apenas duas estações do ano (verão e inverno), para verificar as possíveis modificações nas características da fitomassa. Os tratamentos foram denominados **V-D** e **I-J**;

Estocagem da fitomassa: embora os resultados obtidos em pesquisas a esse respeito não possam ser generalizados, observou-se que, sob determinadas condições de estocagem, pode ser verificado o efeito favorável da ação de microrganismos sobre a fitomassa, culminando com a diminuição do caráter inibitório de certas espécies vegetais em presença do cimento. Desse modo, buscou-se analisar o efeito da estocagem das partículas vegetais, em ambientes protegidos ou não, sobre as características do CBVC. Nesse trabalho foi adotado a estocagem das partículas em ambiente não protegido apenas para o tratamento **V-J** (deixado no campo);

Lavagem da fitomassa: a imersão das partículas vegetais em soluções aquosas permite, em grande parte dos casos, eliminar parcialmente constituintes nocivos à pega do cimento. A eficiência do tratamento depende, igualmente, da duração e temperatura do tratamento, assim como do pH da solução. Tratamentos severos devem ser evitados, pois acarretariam modificações substanciais na fitomassa, causando, às vezes, aumento da incompatibilidade química com o cimento. Ensaio efetuado por Beraldo (1997)

mostraram a adequação da escolha do tempo de 2 horas de lavagem das partículas, à temperatura de 80 °C, tendo sido o escolhido para o presente trabalho. Os tratamentos foram denominados Natural (**N**) e Lavado (**L**).

Tipos de matriz- matriz a ser utilizada é de suma importância, tanto no que diz respeito aos custos envolvidos quanto à resistência mecânica do compósito e, principalmente, quanto ao nível de compatibilidade química com a biomassa vegetal. Foi verificado, na fabricação dos corpos-de-prova, o efeito de dois tipos de cimento, a saber, daquele mais disponível no território nacional- o **CP II-E-32** (NBR 5732) e daquele que é o mais utilizado pela indústria de pré-moldados- **CP V-ARI** (NBR 5733).

Curva de hidratação das misturas

Utilizou-se metodologia adaptada de Weatherwax e Tarkow (1964), modificando-se, no entanto, a finura do material vegetal-passante na peneira #100 (0,149 mm). As temperaturas foram anotadas através de termopares.

Confecção dos corpos-de-prova

Após a escolha da granulometria desejada (passante na peneira de 2,39 mm), e, eventualmente tratadas conforme necessidade da espécie vegetal em estudo, foram confeccionados os corpos-de-prova.

As partículas foram misturadas ao cimento e, lentamente, adicionou-se a água de amassamento, até atingir-se a consistência necessária. A mistura foi, então, colocada em fôrmas metálicas (50 mm de diâmetro e 100 mm de altura) e compactada manualmente com o auxílio de um soquete. Após 24 horas efetuava-se a desmoldagem.

Escolha do traço inicial

Para a fabricação de três corpos-de-prova, para cada tratamento, adotou-se: 400 g de cimento, 150 g de biomassa vegetal (eucalipto) e 300 g de água, ou seja, um traço em massa de **1:0,375:0,75**.

Ensaio de compressão

No ensaio de compressão os corpos-de-prova, após um capeamento com pasta de enxofre e caulim, foram submetidos a um carregamento em máquina universal de ensaios, à razão de 100 kgf/minuto. Para a análise estatística dos resultados foi utilizado o software Sanest, permitindo efetuar-se a

análise de variância e comparar-se as médias dos tratamentos. Foram adotadas três repetições referentes a 3 tipos de corte-uso x 2 tipos de cimento x 3 idades x 3 posições x 2 tratamentos, totalizando 324 corpos-de-prova.

DESAROLLO

Características físicas das partículas:

a) *Distribuição granulométrica:* o diâmetro máximo do agregado foi de 4,76 mm (ou seja, nessa abertura de peneiras ficou retida acumulada menos de 5% do total); o módulo de finura foi da ordem de 3,70, caracterizando o material como similar (em termos de distribuição granulométrica) à areia média.

b) *Umidade das partículas:* não se observou diferença no teor de umidade para partículas provenientes de diferentes árvores, assim como, entre o material originário das três regiões de uma mesma árvore. O teor de umidade situou-se entre 8 e 9%.

c) *Massa específica aparente:* o material proveniente de árvores mais velhas apresentou maior massa específica aparente; igual tendência verificou-se para material originário da base. Os valores médios foram de 99 g/l (mínimo de 87 g/l e máximo de 114 g/l). Para efeito prático não será considerada essa variação nas características do compósito.

Características do compósito madeira-cimento:

a) *Curva de hidratação:* os resultados foram insatisfatórios, pois apenas alguns tipos de mistura indicaram ligeira elevação de temperatura, após um tempo muito longo. Baseado nessas informações pode-se concluir que o material é inibitório à pega dos dois tipos de cimento utilizados.

b) *Curva de secagem:* a umidade inicial dos corpos-de-prova, após a moldagem, mostrou-se muito elevada (de 35 a 45%), denotando um excesso de água durante a sua preparação. Após 28 dias de secagem ao ar livre, no entanto, a umidade situou-se entre 10 e 15%, de acordo com as condições ambientais. Considerou-se, em todas as situações, que o material se encontrava na condição de seco ao ar.

c) *Resistência à compressão:* na maioria dos casos observados o compósito mostrou ruptura dúctil. A análise de variância indicou grande influência das variáveis, sobretudo do tipo de cimento, da idade da

árvore, da época de corte e uso, da posição de amostragem, além de diversas interações entre elas. A comparação das médias através do teste de Tukey (0,05%) indicou:

1) Época de corte e de uso:

- Cimento CP II e material Natural: o corte **VD** mostrou-se mais adequado para todas as idades e posições; árvores de 5 anos se mostraram menos sensíveis à época de corte;
- Cimento CP II e material Lavado: **VD** também foi o melhor; recomenda-se eliminar o corte **VJ** para árvores de 3 anos;
- Cimento CP V e material Natural: **IJ**, seguido de **VD**, foram os melhores; recomenda-se descartar **VJ** para árvores de 3 e de 7 anos;
- Cimento CP V e material Lavado: idêntico ao caso precedente. Árvores de 5 anos se mostraram menos sensíveis à época de corte.

2) Tipos de cimento:

Para o corte **I-J**, com material Natural ou Lavado, houve acentuada predominância do CP V. Para os demais cortes houve a mesma tendência, exceto **VD** (N-M-5 A), **V-J** (N-M-3 A, N-P-3 A, N-M-7 A, N-P-7A, L-P-3 A, L-P-7 A), onde não houve diferença significativa entre os dois tipos de cimento).

3) Posição de amostragem:

- VD-N: para ambos os tipos de cimento deve-se eliminar P- 3 A; em árvores jovens ocorreu tendência de que $B > M > P$;
- VD-L: para o cimento tipo II, árvores mais velhas são as mais indicadas, sem considerar a posição; para o cimento tipo V o material originário da ponta se mostrou melhor;
- VJ-N: para ambos os tipos de cimento árvores de 5 anos foram as mais indicadas; a posição não foi importante; para o tipo V apenas as bases 3 A e 7 A são indicadas;
- VJ-L: idêntico ao anterior;
- VJ-N: árvores de 5 anos foram mais homogêneas; para o cimento tipo V não se observou diferença entre 3 A e 7 A, para todas as posições;
- IJ-L: para o cimento tipo II deve-se descartar B- 3A; para ambos descartar P- 7A.

3) Idade das árvores:

- VD-N: quanto mais velha a árvore melhor foi o resultado; houve tendência a que as pontas se destacassem;
- VD-L: igual ao caso anterior;

- VJ-N: observou-se redução significativa nos resultados para árvores de 3 e de 7 anos, para ambos os tipos de cimento;

- VJ-L: igual ao caso anterior, exceto para a região da base, quando empregado o cimento tipo V;

- IJ-N: árvores de 3 anos foram as menos indicadas, para ambos os tipos de cimento, exceto B- 3A, que não foi diferente de B- 5A;

- IJ-L: a base se mostrou mais homogênea; para o cimento tipo V poderia ser utilizado todo o material.

5) Lavagem das partículas vegetais:

Embora a literatura especializada recomende fortemente essa operação para melhorar o desempenho dos compósitos, verificou-se que o resultado final depende fortemente das demais variáveis envolvidas no experimento. A única situação em que a lavagem mereceu ser efetuada foi para o material originário do corte VD, quando combinado com o cimento tipo V (exceto M- 3A). Nas demais situações não houve necessidade de realizar essa operação (exceto VD-II-M-5 A, VJ-V-B-3 A, VJ-V-M-7 A, IJ-II-B-3 A, IJ-II-B-5 A, IJ-II-P-3 A, IJ-V-B-7 A, IJ-V-M-3 A).

Devido a grande quantidade de figuras que seriam necessárias para ilustrar a influência de todas as variáveis envolvidas no presente experimento, optou-se por apresentar aquelas que fossem mais significativas para a compreensão dos resultados (figuras 1 a 6).

CONCLUSIONES

Baseado nas condições em que foi desenvolvido o experimento e na interpretação da análise estatística efetuada pôde-se concluir que:

- a época de corte e a forma de armazenagem do material vegetal são de fundamental importância para a fabricação do compósito. O tratamento VD (corte e uso no verão) é o mais indicado quando do uso do cimento tipo II; o tratamento IJ (corte e uso no inverno) é mais indicado para o CP V;
- salvo raras exceções o cimento CP V permitiu obter compósitos com maior resistência à compressão do que o CP II. O efeito mais notável quando combinado com o tratamento IJ;

- para árvores de 5 anos não se verificou diferença significativa entre os materiais provenientes da base, meio ou ponta. Para as demais (3 anos e 7 anos), geralmente a ponta é a menos indicada;
- para o tratamento VJ (corte no verão e armazenamento no campo) árvores de 5 anos mostraram melhor desempenho. Nos demais tratamentos ocorreu tendência de que quanto mais velha melhor é a árvore;
- Exceção feita ao tratamento VD e cimento CP V, não houve necessidade, na maior parte dos casos, de se efetuar a lavagem das partículas vegetais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT- Rio de Janeiro.
 - NBR 5733- Cimento Portland de alta resistência inicial, especificação. Rio de Janeiro, 1991, 5p.
 - NBR 7211- Agregado para concreto, especificação. Rio de Janeiro, 1983, 5p.
 - NBR 11578- Cimento Portland composto, especificação. Rio de Janeiro, 1991. 8p.
- 2- Beraldo A. L.; Rolim, M. M. Efeito de tratamentos sobre a resistência à compressão de compósitos cimento-madeira de reflorestamento. IV Congreso Argentino y II Internacional de Ingenieria Rural – CADIR 96(10), 1996, p. 773-778.
- 3- Beraldo A. L. Compósito biomassa vegetal-cimento. In: Materiais não convencionais para construções rurais. Ed. R. D. Toledo Filho; J. W. B. Nascimento; K. Ghavami, cap. 1, 1997, p. 1-48.
- 4- Biblis E. J.; Lo L. Sugars and others wood extractives: Effect on the setting of southern-pine cement mixtures. Forest Products Journal, 18(8), 1968,p. 28-34.
- 5- Dinwoodie J. M; Paxton B. H. Wood-cement particleboards. A technical assessment. Journal of Applied Polymer Science. Applied Polymer Symposium, 1984, p. 271-227.
- 6- Fischer V. F.; Wienhaus O.; Ryssel M.; Oldbrecht J. The water-soluble carbohydrates of wood and their influence on the production of lightweighth wood-wools boards. Holztechnologie, 15(1), 1974, p. 12-19.
- 7- Hachmi M.; Campbell A. G. Wood-cement chemical relationship. In: International Conference of Fiber and Particleboard Bonded with Inorganic binder, Spokane, USA, Vol I, 1989, p. 43-47.
- 8- Hachmi M.; Moslemi, A. A. Correlation between wood-cement compatibility and wood extractives. Forest Products Journal, 39(6), 1989, p. 55-58.
- 9- Miller D. P.; Moslemi A .A . Wood-cement composites: Effect of model compounds on hydration characteristics and tensile strength. Wood and Fiber Science, 23(4), 1991, p. 472-484.
- 10- Moslemi A. A.; Pfister S. C. The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels. Wood and Fiber Science, 19(2), 1987, p. 165-175.
- 11- Pimienta P.; Chandellier J.; Rubaud M.; Dutruel F.; Nicole H. Étude de la faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois. Cahiers du CSTB, 2073, 1994, 45 pp.
- 12- Schwarz, H. G.; Simatupang, M. H. Eignung des Buchenholzes zur Herstellung zementgebundener Holzwerkstoffe. Holz als Roh-und Werkstoff, 42, 1984, p.265-270.
- 13- Schwarz H. G. Cement-bonded boards in Malaysia. In: Internacional Congres on Fiber and Particleboard Bonded With Inorganic Binders, vol. 1, 1988, p. 91-92.
- 14- Simatupang M. H. Degradations of glucose, cellobiose, and wood under the influence of Portland cement paste. Holzforschung, v. 40(3), 1986, p. 149-155.
- 15- Simatupang, M. H.; Lange H.; Kasim A., Seddig N. Influence of wood species on the setting of cement and gypsum. In: International Congres on Fiber and Particleboards Bonded with Inorganic Binders, v. 1, 1988, p. 33-42.
- 16- Simatupang, M. H.; Habighorst C. The carbon dioxide process to enhance cement hydration in manufactory of cement-bonded composites-comparison with common production method. In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials Conference, vol 3, 1992, p. 114-120.
- 17- Valenzuela W. A. Contribution à la détermination de l'aptitude d'essences forestières pour la fabrication de panneaux de fibro-ciment". Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique, 1989, 135 p.
- 18- Weatherwax R. C.; Tarkow H. Effect of wood on setting of Portland cement. Forest Products Journal, 14(2), 1964, p. 567-570.

ANEXOS

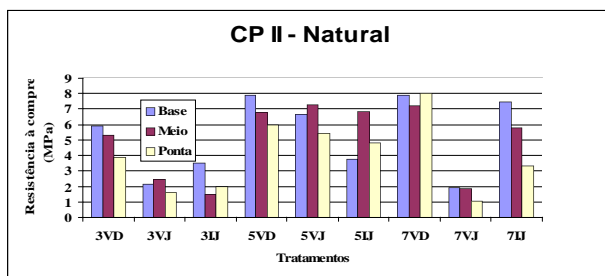


Figura 1- efeito da época de corte- CP II-E-32

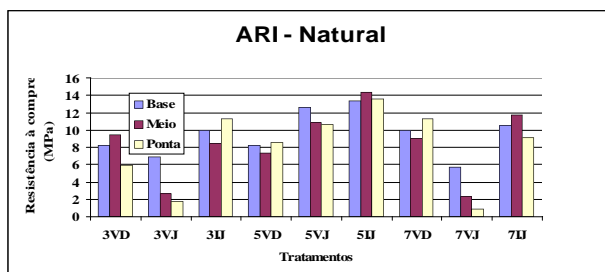


Figura 2- efeito da época de corte- CP V-ARI

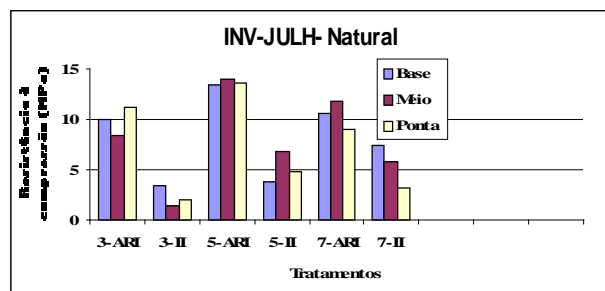


Figura 3- efeito do tipo de cimento- corte IJ

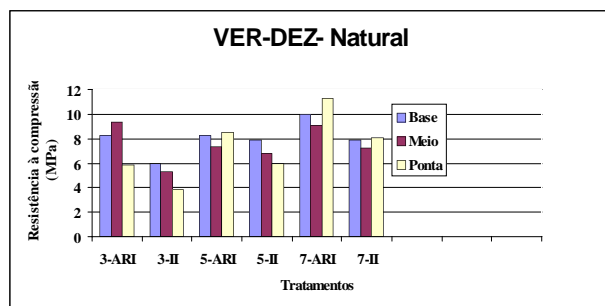


Figura 4- efeito do tipo de cimento- corte VD

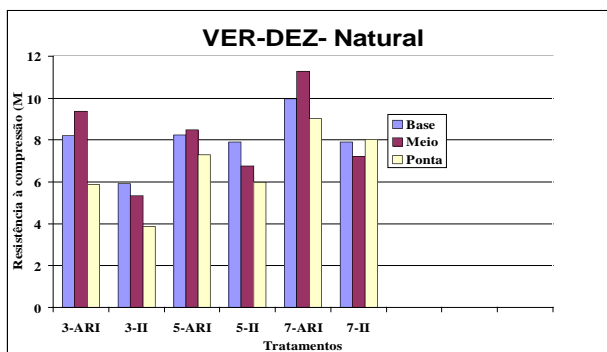


Figura 5- efeito da posição- corte VD

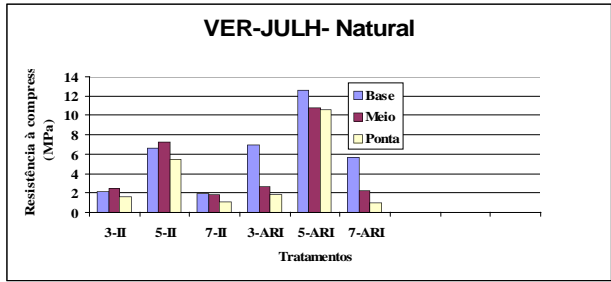


Figura 6- efeito da posição- corte VJ

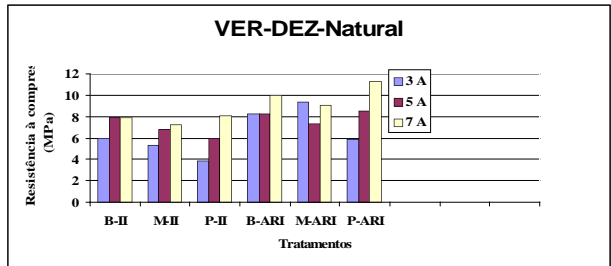


Figura 7- efeito da idade- corte VD

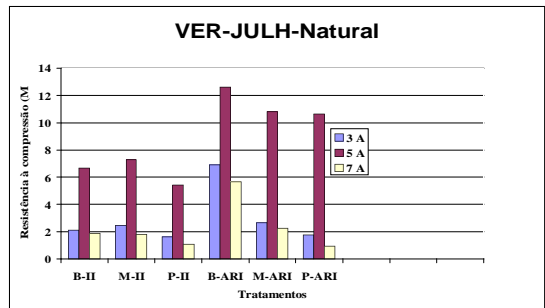


Figura 8- efeito da idade- corte VJ

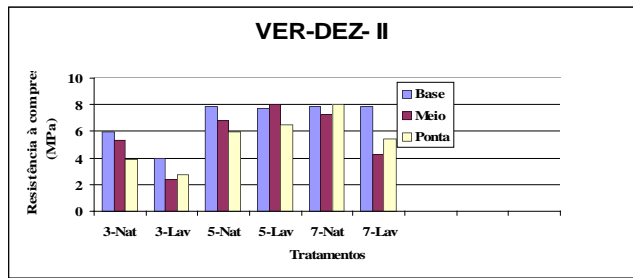


Figura 9- efeito da lavagem – VD – CPII

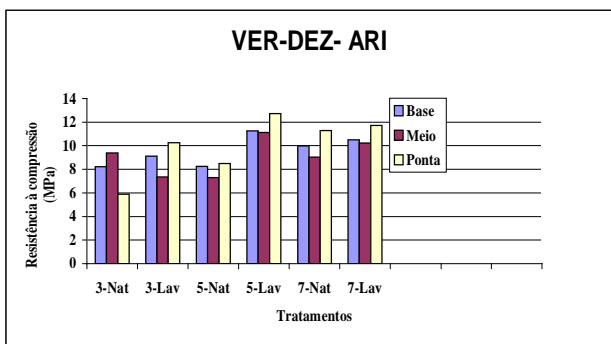


Figura 10- efeito da lavagem – VD – CPV