

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS PARTICULADOS DA MADEIRA DE EUCALIPTO
GRANDIS NA FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS À BASE DE
CIMENTO PORTLAND

Por :

JOSÉ VITÓRIO DE CARVALHO

CAMPINAS
ESTADO DE SÃO PAULO
BRASIL
NOVEMBRO - 2000

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - FEAGRI

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS PARTICULADOS DA MADEIRA DE EUCALIPTO
GRANDIS NA FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS À BASE DE
CIMENTO PORTLAND

Por :

JOSÉ VITÓRIO DE CARVALHO
Engenheiro Agrônomo

Dissertação apresentada à FEAGRI – UNICAMP, em cumprimento
parcial dos requisitos para obtenção de título de Mestre em
em Engenharia Agrícola, Área de Concentração :
Construções Rurais e Ambiente

Orientador : Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo

CAMPINAS – SP
NOVEMBRO - 2000

DEDICATÓRIA

**Aos meus irmãos,
amigos e parentes.**

Ofereço.

**Ao meu pai, Sebastião José de Carvalho, e minha mãe
Libânia de Oliveira, pelo exemplo de vida.
À minha esposa, filho, filha e genro pela compreensão
incentivo, ajuda e companheirismo.**

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida.

Ao Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo, que como orientador demonstrou toda amizade, empenho e paciência durante a realização do trabalho.

Aos professores do Departamento de Construções Rurais, que dentro das possibilidades, muito colaboraram para que eu conseguisse tal feito.

Às secretárias da CPG – Ana e Marta, pela atenção dedicada.

Aos demais professores, técnicos e auxiliares da Faculdade de Engenharia Agrícola, que muito colaboraram.

Aos funcionários do Campo Experimental, pela amizade criada e pela colaboração prestada, durante a execução do trabalho.

Ao Centro de Bioterismo- CEMIB, que cedeu a cepilhadeira e aos seus funcionários por terem ajudado no trabalho de preparação do material.

À Chamflora Agrícola, subsidiária da Champion Papel e Celulose Ltda e, em especial, ao Diretor Florestal Dr. Manoel de Freitas, ao Engenheiro Florestal Eduardo Campinhos e aos técnicos: Flávio Augusto e Jair, por terem se empenhado para o fornecimento da matéria-prima empregada na elaboração deste trabalho.

À Companhia de Cimentos Votorantim pela doação de material para a realização dos corpos-de-prova e das placas prensadas.

Ao técnico Marçal, do Laboratório de Materiais e Estruturas da Faculdade de Engenharia Civil, pela sua colaboração na execução dos ensaios de compressão.

À técnica Gisleiva do Laboratório de Ensaio de Materiais, da Feagri, pelo auxílio no controle e condução da execução experimental.

Ao desenhista Robson pela elaboração das figuras.

Ao acadêmico do IMECC, Carlos Eduardo Hirth Pimentel, pela análise estatística.

À CAPES / PICDI, pela concessão da Bolsa.

À CPG / FEAGRI, pelos recursos oferecidos.

Aos meus colegas, em especial ao Ruy, Martha e Celso, por terem me auxiliado nas horas de estudos.

Em especial, e com muito carinho e amor, à minha esposa Alba M. S. Carvalho, que permaneceu ao meu lado incentivando e, principalmente, ajudando-me na realização deste trabalho.

E a todos que direta ou indiretamente ofereceram apoio para realização deste, eu expresso meu mais profundo agradecimento.

OBRIGADO.

ÍNDICE

LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Inconveniente no uso do CBVC	6
2.2. Incompatibilidade química entre biomassa vegetal e o cimento	7
2.3. Fatores que afetam a compatibilidade química entre a biomassa vegetal e o cimento	7
2.3.1. Natureza da biomassa vegetal	7
2.3.2. Condição fitossanitária	8
2.3.3. Reações que ocorrem entre a madeira e o cimento	8
2.3.4. Anatomia	9
2.3.5. Época de corte das árvores	10
2.3.6. Idade das árvores	11
2.3.7. Estocagem	11
2.4 Eucalyptus grandis	12
2.5. Tipos de cimento	14
2.6. Tratamento visando melhorar a compatibilidade entre a madeira e o cimento	15
2.6.1. Lavagem das partículas vegetais	16
2.6.2. Pega do CBVC	16
2.6.3. Tratamentos químicos	16
2.6.4. Avaliação de propriedades mecânicas através da utilização de ultrasonografia	18
3. MATERIAIS e MÉTODOS	19
3.1. Corte e preparação das partículas vegetais	19
3.2. Propriedades físicas dos agregados	23

3.2.1. Granulometria	23
3.2.2. Umidade	23
3.2.3. Massa específica aparente	23
3.3. Tratamentos físicos	24
3.4. Tipos de matriz	25
3.5. Amostragem	25
3.5.1. Efeito da posição	25
3.5.2. Efeito da idade da tora	25
3.6. Confeção dos corpos-de-prova	26
3.7. Escolha do traço inicial	26
3.8. Ensaaios físicos	27
3.9. Ensaaios mecânicos	28
3.9.1. Métodos não destrutivos	28
3.9.2. Métodos destrutivos	28
3.10. Fabricação de artefatos à base de cimento Portland e partículas de madeira de eucalipto	29
3.10.1. Placas prensadas	29
3.10.2. Ensaaios não destrutivos de placas	31
3.10.3. Ensaio destrutivo de corpos-de-prova originários das placas	32
3.10.3.1. Flexão estática	32
3.10.3.2. Compressão paralela à superfície	33
3.10.3.3. Absorção de água e variação dimensional	34
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 Propriedades físicas das partículas de E. grandis	37
4.1.1. Análise granulométrica	37
4.1.2. Teor de umidade das partículas	37
4.1.3. Massa específica aparente das partículas	37
4.2. Características do compósito madeira-cimento Portland	37
4.2.1. Curva de hidratação	37
4.2.2. Curva de secagem	38
4.2.3. Massa específica aparente	39

4.2.4. Propriedades mecânicas	40
4.2.4.1. Ensaio de ultra-som de corpos-de-prova cilíndricos	41
4.2.4.2. Compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos	70
4.3. Ensaio não destrutivo das placas prensadas	73
4.4. Ensaio de compressão paralela à superfície	74
4.5. Ensaio de flexão estática	74
4.6. Absorção	75
4.7. Variações dimensionais	75
5. CONCLUSÕES	77
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1 Composição química da madeira de espécies de eucalipto do Brasil	13
Quadro 2 Tipos de cimento fabricados no Brasil (ABCP)	15
Quadro 3 Características das árvores abatidas em novembro/1998	19
Quadro 4 Características das árvores abatidas em julho/1999	19
Quadro 5 Características dos toretes de Eucalipto grandis, retirados das árvores abatida s em novembro/1998	20
Quadro 6 Características dos toretes de Eucalipto grandis, retirados das árvores abatida s em julho/1999	21
Quadro 7 Exemplo da preparação dos dados de entrada	29
Quadro 8 Recomendações para ensaios de flexão estática (ASTM D-1037)	33
Quadro 9 Delineamento experimental	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Cepilhadeira: obtenção de partículas de eucalipto oriundas dos toretes	22
Figura 2	Secagem de partículas ao sol	22
Figura 3	Esquema de realização do teste de compatibilidade química.	27
Figura 4	Equipamento Ultrasonic Tester BP 7- Steinkamp	28
Figura 5	Amassadeira de panificadora	30
Figura 6	Prensa hidráulica Charlotte PH 30	30
Figura 7	Placas após a desmoldagem	31
Figura 8	Esquema para medição da velocidade de propagação superficial nas placas	31
Figura 9	Posição dos corpos-de-prova retirados das placas para ensaio de flexão estática	32
Figura 10	Esquema do carregamento estático	32
Figura 11	Extração de corpos-de-prova para ensaios de compressão paralela à superfície	33
Figura 12	Extração de corpos-de-prova para ensaio de absorção de água e de variação dimensional	34
Figura 13	Corpos-de-prova para determinação de umidade, absorção de água e variação dimensional	34
Figura 14	Esquema de medição dos corpos-de-prova	35
Figura 15	Curvas de hidratação de pasta e de misturas à base de CP V-ARI.	38
Figura 16	Curvas de hidratação de pasta e de misturas à base de CP II-E-32	38
Figura 17	Curva de secagem da amostra B3 IJ CP II-E-32	39
Figura 18	Velocidade de propagação da onda ultra-sônica na direção transversal.	40
Figura 19	Velocidade de propagação da onda ultra-sônica na direção longitudinal	41
Figura 20	Efeito da época de corte e uso- CP II-E-32 e material Natural	48
Figura 21	Efeito da época de corte e uso- CP II-E-32 e material Lavado	49
Figura 22	Efeito da época de corte e uso- CP V-ARI e material Natural	49
Figura 23	Efeito da época de corte e uso- CP V-ARI e material Lavado	49

Figura 24	Efeito do tipo de cimento- Corte e Uso VD, material Natural	50
Figura 25	Efeito do tipo de cimento- Corte e Uso VD, material Lavado	51
Figura 26	Efeito do tipo de cimento- Corte e Uso VJ, material Natural	51
Figura 27	Efeito do tipo de cimento- Corte e Uso VJ, material Lavado	51
Figura 28	Efeito do tipo de cimento- Corte e Uso IJ, material Natural	52
Figura 29	Efeito do tipo de cimento- Corte e Uso IJ, material Lavado	52
Figura 30	Efeito da posição de amostragem- Corte e Uso VD, material Natural	54
Figura 31	Efeito da posição de amostragem- Corte e Uso VD, material Lavado	54
Figura 32	Efeito da posição de amostragem- Corte e Uso VJ, material Natural	55
Figura 33	Efeito da posição de amostragem- Corte e Uso VJ, material Lavado	55
Figura 34	Efeito da posição de amostragem- Corte e Uso IJ, material Natural	55
Figura 35	Efeito da posição de amostragem- Corte e Uso IJ, material Lavado	56
Figura 36	Efeito da idade- Corte e Uso VD, material Natural	58
Figura 37	Efeito da idade- Corte e Uso VD, material Lavado	58
Figura 38	Efeito da idade- Corte e Uso VJ, material Natural	58
Figura 39	Efeito da idade- Corte e Uso VJ, material Lavado	59
Figura 40	Efeito da idade- Corte e Uso IJ, material Natural	59
Figura 41	Efeito da idade- Corte e Uso IJ, material Lavado	59
Figura 42	Efeito da lavagem das partículas- Corte e Uso VD, cimento CP II-E-32	61
Figura 43	Efeito da lavagem das partículas- Corte e Uso VD, cimento CP V-ARI.	61
Figura 44	Efeito da lavagem das partículas- Corte e Uso VJ, cimento CP II-E-32	61
Figura 45	Efeito da lavagem das partículas- Corte e Uso VJ, cimento CP V-ARI	62
Figura 46	Efeito da lavagem das partículas- Corte e Uso IJ, cimento CP II-E-32	62
Figura 47	Efeito da lavagem das partículas- Corte e Uso IJ, cimento CP V-ARI	62
Figura 48	Velocidade de propagação iniciais- fundo e frente, para a placa B5 IJ	64
Figura 49	Velocidade de propagação finais- fundo e frente, para a placa B5 IJ	65
Figura 50	Velocidade de propagação iniciais- fundo e frente, para a placa B7 IJ	65
Figura 51	Velocidade de propagação finais- fundo e frente, para a placa B7 IJ	66
Figura 52	Compressão na direção paralela- condições seca e úmida	67
Figura 53	Flexão estática- condições seca e úmida	67
Figura 54	Absorção de água	68

Figura 55	Variação dimensional na direção 3-4 (espessura)	69
Figura 56	Variação dimensional na direção 1-2 (largura)	69
Figura 57	Variação dimensional na direção 5 (comprimento)	70

RESUMO

Este trabalho teve, como enfoque principal, propor o aproveitamento de partículas originárias da madeira de reflorestamento- *Eucalyptus grandis*, na fabricação de compósitos à base de cimento Portland. Analisou-se o efeito de diversos fatores de influência nas características do compósito, a saber: época de corte e de uso do material, posição de amostragem, idade das árvores, tipo da matriz empregada e tipo de tratamento utilizado (lavagem das partículas). Árvores com 5 anos, corte e uso no I J (Inverno-Julho), quando utilizado os resíduos particulados da madeira e o cimento CPV- ARI na fabricação de compósitos, foram as que mais se destacaram. Os resultados obtidos nessa primeira etapa serviram de balizamento para a confecção de placas prensadas buscando viabilizar o uso de tais materiais em construções, sobretudo em áreas rurais.

ABSTRACT

This work had, as main focus, to propose the use of original particles of the reforestation wood - *Eucalyptus grandis*, in the production of composites to the cement base Portland. The effect of several influence factors was analyzed in the characteristics of the composite, to know: cut time and of use of the material, sampling position, age of the trees, type of the employed head office and type of used treatment (wash of the particles). Trees with 5 years, cut and use in the I J (Winter-July), when used the residues particulados of the wood and the cement CPV - ARI in the production of composites, were the ones that more they stood out. The obtained results in that first stage served as balizamento for the making of pressed plates looking for to make possible the use of such materials in constructions, above all in rural areas.

1. INTRODUÇÃO

O problema florestal no Brasil sempre foi um tema de acalorada discussão. Grandes áreas de matas nativas foram derrubadas, e ainda continuam sendo devastadas, tendo-se como exemplo recente, o grave incêndio ocorrido em Roraima no ano de 1998.

Com a necessidade da exploração de madeira, e sem saber como repor aquelas que estavam sendo retiradas, surgiu, por volta de 1903, interesse na busca de uma espécie vegetal que tivesse desenvolvimento rápido e que fornecesse madeira à Companhia Paulista de Estradas de Ferro (CPEF). O interesse voltou-se para espécies exóticas pertencentes ao gênero *Eucalyptus*, e que já vinham sendo pesquisadas pelo engenheiro agrônomo Edmundo Navarro de Andrade.

Neste mesmo ano, iniciou-se, em Jundiaí-SP, o estudo experimental para a formação de florestas artificiais com árvores denominadas vernacularmente de eucaliptos. No Horto Florestal de Jundiaí, Navarro de Andrade pôde observar e comparar o desenvolvimento do eucalipto junto com outras espécies nativas, tais como: cedro (*Cedrela fissilis* Vell), peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron* M. e Arg.), pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze), dentre outras.

A partir dos resultados dos ensaios, a CPEF, em 1909, adquiriu grandes áreas em Rio Claro objetivando o plantio das espécies de eucaliptos que se mostraram mais promissoras. Já no ano de 1954, a quantidade de árvores plantadas era de 250 milhões, ocupando uma área aproximada de 125 mil hectares.

Devido à quase extinção 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 Federal teve que tomar sérias providências para impedir a exploração descontrolada dos recursos florestais.

A Lei 5106, de 02/09/66, permitiu às pessoas físicas e jurídicas o direito de abater impostos através de incentivos fiscais. Este incentivo ampliou e trouxe, para aqueles que fizeram adequadamente o reflorestamento, grandes benefícios sociais, econômicos e ambientais.

Empresas de engenharia civil voltaram seus olhos para o eucalipto e passaram a utilizar essa madeira nas mais variadas construções, principalmente sob forma de pontaletes para escoramento de fôrmas de lajes.

Segundo a Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS), até 1996 existiam cerca de 3 milhões de hectares, correspondendo a 7,5 milhões de árvores plantadas em diversos estados brasileiros (Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul, Espírito Santo, dentre outros).

Deve-se lembrar, contudo, que o objetivo de conceder os incentivos fiscais não logrou pleno êxito, provavelmente devido aos problemas de natureza operacional, tais como: insuficiência de informações tecnológicas, falta de planejamento de ocupação das terras, escolha inadequada das espécies, uso de técnicas inadequadas, falha na legislação e na fiscalização, dentre outras.

Nenhuma ação é totalmente neutra ou se encerra em si mesma. Isto significa que qualquer que seja a ação, ela pode estimular ou desestimular outras ações em maior ou menor grau. Essas ações são conhecidas como efeito para trás (backward effect), ou efeito para frente (forward effect). Como exemplo de efeito para frente pode ser citado o aumento na produção da madeira ocorrido após a década de 60, e que incentivou a criação de grandes empresas fabricantes de celulose, estimulando, por sua vez, as indústrias de papel e, por conseguinte, incentivando as indústrias gráficas.

Na época do surgimento dos incentivos fiscais, o Brasil estava tomando seus primeiros impulsos para o reflorestamento com o gênero *Eucalyptus* e suas diversas espécies. Atualmente, o setor florestal brasileiro, abrangendo florestas implantadas de espécies exóticas e nativas, encontra-se engajado no que se denomina novos modelos de plantio.

Podem ainda ser citadas algumas das principais funções ambientais dos reflorestamentos :

- melhoria da qualidade do ar;
- minimização do efeito estufa;
- redução dos níveis de poluição aérea;
- redução da pressão exercida sobre espécies nativas;
- estabilidade ecológica das áreas de plantio;
- abrigo de parte da biodiversidade;
- produção científica e tecnológica.

Mas, é inconcebível que um gênero como o *Eucalyptus* e suas centenas de espécies, que oferece à humanidade, oxigênio e madeira, principal fonte econômica para fins industriais, não se torne cada vez mais destacado, estudado, pesquisado e submetido aos rigorosos testes de resistência, qualidade e adequação para os mais variados fins.

A madeira sempre ocupou lugar de destaque em diversas fases da civilização. Desde seu uso energético até sua aplicação em moradias, a madeira mostrou ser um importante aliado na luta do homem pela sobrevivência em regiões inóspitas do planeta.

Um dos vários argumentos a serem considerados quanto à utilização da madeira e de seus subprodutos, refere-se à condição de se tratar de matéria prima disponível e, sobretudo, renovável.

Quando se propõe o uso de determinado material para certos fins, faz-se necessário o conhecimento de suas características elementares. Esse é o caso da madeira, no que tange à sua natureza, formação e estrutura celular.

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 regional de cimento Portland.

O objetivo principal deste trabalho é o de fazer com que, através dos resultados obtidos com a fabricação de compósitos biomassa vegetal-cimento (CBVC), possam vir a ser aproveitados os resíduos particulados da madeira de eucalipto, que até o momento estão sendo utilizados apenas na produção de energia dentro das indústrias de papel e celulose. (madeira com ϕ abaixo de 6cm).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos últimos tempos várias pesquisas têm sido desenvolvidas sobre produtos à base de cimento Portland. O uso das fibras vegetais, no reforço de matrizes à base de cimento, tem se mostrado bastante adequado. No entanto, produtos tais como, fibras de vidro, de aço, de amianto e de carbono, embora apresentem características mecânicas adequadas, continuam ainda despertando polêmica devido aos seus altos custos de produção, ou quanto aos comprovados danos que causam ao meio ambiente.

Com isto, materiais à base de lignina e de celulose apresentam grande interesse para a possível substituição de fibras de amianto na fabricação do fibrocimento (BUGNA et al., 1981).

Compósitos biomassa vegetal-cimento (CBVC) apresentam grande potencial de aplicação devido às suas características interessantes, tais como:

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

As propriedades do CBVC dependem estreitamente da origem da matéria-prima vegetal que o constitui. Conforme citam vários autores, 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 do 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 (BIBLIS & LO, 1968; FISCHER et al, 1974; SIMATUPANG, 1986; HACHMI &

CAMPBELL, 1989; VALENZUELA, 1989; MILLER & MOSLEMI, 1991; BERALDO, 1994).

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.

O setor relativo às técnicas construtivas, além do aspecto ambiental, mostra tendência do aceleramento no consumo do CBVC na Europa (HOLDERNESS, 1990).

Além disso, uma pesquisa feita na Grã-Bretanha mostrou que o sucesso potencial de um novo painel à base de madeira depende do grau de sensibilização da população no que diz respeito ao material usado (KALAFATIS et al., 1989).

Diversos produtos à base de cimento podem ser fabricados por moldagem (deposição da mistura) de compósitos biomassa vegetal-aglomerantes minerais (cimento, gesso, etc.), e também do uso de certos aditivos (aceleradores, cargas minerais, plastificantes, incorporadores de ar, etc.).

Nos anos 30 foram obtidos grandes avanços com a fabricação de produtos à base de cimento e madeira. Na fabricação de painéis leves foi utilizado como aglomerante a magnesita. Esses painéis ficaram 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).

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).

As misturas madeira-cimento podem ser depositadas em fôrmas, sem sofrer pressão, ou submetidas à prensagem (combinada ou não com extrusão). MOSLEMI & PFISTER (1987) recomendaram que, para ter melhor eficiência no processo de fabricação do CBVC, deve-se atender às seguintes especificações: 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 propensas a absorver a água de amassamento do cimento. As partículas vegetais devem, também, serem selecionadas

em dimensões adequadas para a adição à pasta (ou argamassa) de cimento, previamente homogeneizada.

Com respeito à **cura** do CBVC, a mesma não necessita de maiores cuidados a respeito da perda de água, uma vez que as partículas vegetais funcionam como um reservatório, o qual vai liberando água à medida que a matriz vai secando. BERALDO (1994) realçou, igualmente, a importância de se efetuar alternadamente a secagem e a umidificação do CBVC, de modo relançar a reação da hidratação do cimento.

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.

Quando utilizam-se resíduos agrícolas, existe economia de energia e preserva-se o meio ambiente, por não haver necessidade da realização de queimadas. AROLA (1992) afirmou que, em muitas regiões longínquas em relação aos grandes centros, podem e devem se obter produtos oriundos de vegetais, em substituição aos agregados minerais, pois nem sempre tais produtos encontram-se facilmente ao alcance da população.

De acordo com IRLE & SIMPSON (1992), cerca de 5 milhões de toneladas de resíduos de paletes são disponíveis anualmente nos USA.

Seja qual for o vegetal usado para a fabricação do CBVC é óbvio que os mesmos têm grande possibilidade na utilização, devido à sua versatilidade e seu baixo custo. HOLDERNESS (1990) afirmou que os possíveis usos do CBVC são limitados apenas pela imaginação do usuário.

2.1. Inconvenientes no uso do CBVC

De acordo com SIMATUPANG & HABIGHORST (1992), os inconvenientes demonstrados pelo CBVC são:

- incompatibilidade química com o cimento, a qual está na dependência das características do material usado;
- tempo de pega relativamente longo;
- durabilidade reduzida da biomassa vegetal na matriz;

- instabilidade dimensional;
- presença de eflorescências.

Para evitar tais inconvenientes, faz-se necessário escolher adequadamente a biomassa vegetal a ser usada nos CBVC, pois sabe-se que nem todas as espécies vegetais são compatíveis com o cimento.

2.2. Incompatibilidade química entre biomassa vegetal e o cimento.

A principal qualidade requerida para um agregado de biomassa vegetal é que o mesmo não seja nocivo 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 qual permite a formação de uma rede de silicatos, ligando as partículas.

Ao comportamento que cada espécie vegetal oferece, independentemente do gênero, ao se unir com o cimento, denomina-se “compatibilidade química”. De um modo geral 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.

O efeito de substâncias inibitórias ao cimento pode ser verificado quando se varia a concentração da mesma em relação à massa de cimento, durante a confecção de corpos-de-prova (BERALDO, 1994). Glicose na concentração de 1% inibe completamente a pega do cimento (SIMATUPANG, 1986). Glicose, sacarose e frutose, presentes em partículas de bambu, são responsáveis pelo fraco desempenho do CBVC (BERALDO, 1994).

2.3. Fatores que afetam a compatibilidade química entre a biomassa vegetal e o cimento Portland

2.3.1. Natureza da Biomassa Vegetal

As madeiras folhosas (Angiospermas) apresentam uma composição anatômica mais complexa e com estrutura celular mais especializada do que as coníferas (Gimnospermas).

Enquanto que nessas últimas predominam traqueídes e raios, as folhosas são compostas de fibras, vasos, raios e células parenquimatosas.

As espécies folhosas, devido ao seu alto teor em hemicelulose, são, em geral, bem mais inibitórias do que as coníferas (SIMATUPANG et al., 1978). O teor máximo em açúcares tolerado pelo cimento situa-se entre 0,4 a 0,5%, para coníferas, e 0,2 a 0,25%, para as folhosas (SCHWARZ & SIMATUPANG, 1984). O bambu é altamente inibitório à pega do cimento (BERALDO, 1994).

2.3.2. Condição fitossanitária

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

Madeiras atacadas por insetos xilófagos, tais como cupins, são altamente inibitórias à pega do cimento. Os agentes biológicos quando agem sobre a madeira podem reduzir o efeito inibitório sobre a pega do cimento, ao transformarem açúcares em substâncias menos problemáticas ao aglomerante.

2.3.3. Reações que ocorrem entre a madeira e o cimento

Quando da interação entre o cimento e a madeira, uma parte da hemicelulose começa a solubilizar e retarda o endurecimento do cimento (SIMATUPANG, 1986; SIMATUPANG et al., 1988).

O ataque sofrido pela madeira através dos álcalis do cimento pode converter parcialmente as hemiceluloses e polímeros de açúcar, o que provoca problemas na pega do cimento (READING, 1988). Há casos em que um teor de açúcares superior a 0,5%, provoca fissuras de inchamento, acarretando queda significativa na resistência mecânica de corpos-de-prova de CBVC (LIEBER & RICHARTZ, 1972).

Constituintes da madeira, tais como açúcares, ácidos derivados, gluconatos, etc, reagem com os íons Ca^{++} e OH^- , formando complexos (HACHMI & CAMPBELL, 1989).

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 & MOSLEMI, 1991).

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

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

Análises feitas por cromatografia em camada fina, por determinação espectrofotométrica, evidenciaram que os elementos perturbadores da pega do cimento eram os açúcares e os ácidos lignossulfônicos (BROKER & SIMATUPANG, 1973).

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 sobre a inibição da pega do cimento (HACHMI & MOSLEMI, 1989).

Madeiras ricas em taninos devem ser descartadas, pois inviabilizam a fabricação dos CBVC (LIGNUM, 1960). 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.

Desse modo, observa-se que a qualidade final do CBVC depende muito das interações entre a biomassa vegetal e o cimento.

Os tratamentos físicos e químicos da biomassa vegetal facilitam as interações entre os constituintes, o que permite a obtenção de CBVC que se adeque à resistência mecânica desejada (HACHMI & CAMPBELL, 1989).

2.3.4. Anatomia

O tronco de uma árvore adulta consiste em uma coluna de lenho que adelgaça para o topo, sendo formado por uma série de camadas ou acréscimos anuais, adicionadas umas sobre as outras, à maneira de uma série de cones sobrepostos, e envolvidos pela casca. Na extremidade do tronco e de cada um de seus ramos localiza-se um ponto de crescimento

terminal, ápice ou vértice vegetativo onde se processa o alongamento. Entre a casca e o lenho está localizado o câmbio, um meristema que origina ano a ano novas células de lenho e de casca provocando, desse modo, o engrossamento dos eixos caulinares.

Os raios do lenho contatam, através do câmbio, com os raios do líber, formando importantes condutos que servem ao transporte e armazenamento de nutrientes.

Os vasos ou os traqueídes estão orientados longitudinalmente e, são fisiologicamente importantes, já que constituem a via através da qual se desloca a água das raízes para as folhas. As fibras e as células do parênquima são, igualmente, elementos dispostos longitudinalmente. Nesses termos, o tronco de uma árvore consiste mais de células mortas entremeadas de células vivas na parte exterior do lenho e na parte interior da casca, envolvido todo este conjunto por uma camada de casca morta.

Com o decorrer dos anos, morrem todas as células da parte central do tronco de uma árvore; daí, então, dá-se a formação do cerne, onde acumulam-se: óleos, gomas, resinas, taninos e outras substâncias, o que o torna mais escuro do que o lenho vivo ou alburno (KRAMER e KOZHOWSKI, 1960).

Os diferentes constituintes da madeira comportam-se de forma diferente em presença do cimento. A análise da curva de hidratação de misturas à base de cimento indica que a casca da madeira Southern pine” foi nove vezes mais inibitória do que o alburno, e 2,5 vezes mais do que o cerne ou lenho morto (BIBLIS & LO, 1968). O cerne apresenta maior quantidade de extrativos e, portanto, maior inibição da pega e do endurecimento do cimento (HOFSTRAND et al., 1984). 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 & CAMPBELL, 1989).

2.3.5. Época de corte das árvores

A época de corte da árvore pode ter grande influência no que diz respeito à pega da mistura madeira e cimento, pois o teor de açúcares livres sofre alteração durante o decorrer do ano.

De acordo com FISCHER et al. (1974), testes realizados de acordo com amostragem efetuada ao longo da altura de árvores, mostraram diferenças significativas na distribuição dos açúcares (sacarose, glicose, frutose), em espécies coníferas alemãs. Foi constatado que o teor

em açúcares foi mais elevado nos meses de abril (primavera) e mais baixo em agosto (verão). Efeito mais notável foi observado sobre a frutose, a qual, praticamente, desapareceu (transformou-se) 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 & LO, 1968).

2.3.6. Idade das árvores

CBVC fabricado a partir de material proveniente de árvores juvenis apresentam grande instabilidade dimensional. Tais árvores por possuírem altura reduzida e baixo desenvolvimento do tronco em diâmetro, indicam maior porcentagem de alburno do que de cerne. Tal fato pode influenciar significativamente o comportamento físico-mecânico do CBVC.

2.3.7. Estocagem

O tipo de estocagem da madeira, após o corte, exerceu grande influência na diminuição dos teores de açúcares, pois, segundo SCHWARZ & SIMATUPANG (1984), para madeira “hêtre ou faia” (*Fagus silvatica*), tais valores passaram de 0,2% (madeira pouco protegida) para 0,1% (secagem em ambiente protegido). Teores de açúcares diminuíram devido às ações enzimáticas. As transformações dos açúcares conduziram à obtenção de constituintes não inibitórios ao cimento, segundo LEE et al. (1987). No entanto não foram encontradas diferenças sistemáticas entre o armazenamento de partículas de madeira em temperatura de 7 °C, e ao ar livre, em condições normais de temperatura, segundo SCHWARZ et al. (1988).

O envelhecimento da madeira, quando efetuado em condição exposta ao ar livre, melhorou a resistência mecânica do CBVC, pois certos constituintes da madeira foram eliminados pelas águas pluviais (READING, 1988).

Embora o armazenamento apresente efeitos benéficos, pois provoca a diminuição na concentração de açúcares da madeira, constatou-se que o mesmo efeito não ocorreu para compostos fenólicos (SIMATUPANG, 1986; VALENZUELA, 1989). Verificou-se que, após

90 dias de armazenamento, o teor de açúcares da madeira foi reduzido de forma significativa, enquanto que o teor em taninos não apresentou variações.

Segundo BERALDO (1994), partículas de bambu (*Phyllostachys viridis*), estocadas durante dois anos em ambientes protegidos, apresentaram queda significativa no teor de açúcares, embora tal operação ainda se mostrasse insuficiente para permitir a pega do cimento.

2.4 Eucalipto grandis

O *Eucalyptus grandis* é uma espécie que ocorre em clima quente-úmido, com temperatura máxima variando de 24 a 30 °C, na região sudeste da Austrália, e de 29 a 32 °C, na região nordeste; a mínima variando, respectivamente, de 3 a 8 °C e de 10 a 17 °C, com uma precipitação de 1.000 a 3.5000 mm (BOLAND et al., 1984).

Essa espécie de vegetal se concentra preferencialmente em baixadas ou em partes mais baixas de vales com solos supostamente mais férteis, profundos e bem drenados. Tanto na região nordeste (Atherton) quanto na Sudeste (Coffs Harbour, por exemplo), o *E. grandis* está associado às florestas pluviais, seja nas suas bordas ou dentro delas. O sub-bosque é geralmente denso e formado por muitos arbustos e árvores de espécies folhosas de menor porte. Isso indica que essa espécie na sua região de origem não está sujeita a déficit hídrico. Esta deve ser a razão pela qual na região nordeste daquele país o *E. grandis* ocorre em locais de altitude mais elevada – maior que 800 m (temperatura mais baixa), com precipitação total ainda elevada e com estação seca pouco prolongada. Também, a capacidade de armazenamento de água no solo é boa (solos mais profundos) e quando isto não acontece a espécie cede lugar a outras, como *E. resinifera* e *E. intermedia*. Já nas regiões de maiores latitudes, como no sudeste da Austrália, pelas condições menos intensas de evapotranspiração, o *E. grandis* ocorre em locais de baixa altitude, mas com as mesmas condições (BARROS et al., 1986).

No quadro 1 apresentam-se características químicas de diversas espécies de eucalipto (IPT, 1981).

Quadro 1. Composição química da madeira de espécies de eucaliptos do Brasil.

Espécies	Idade Anos	Solubilidade:					
		Água quente (%)	Álcool Benzeno (%)	Celulose (%)	Lignina (%)	Pentosanas (%)	Cinzas (%)
<i>E. saligna</i>	4	3,2	2,0	47,8	26,4	18,2	0,3
<i>E. saligna</i>	5	1,6	1,0	50,8	24,3	18,9	0,4
<i>E. saligna</i>	5	3,0	4,0	54,9	26,4	16,5	0,2
<i>E. saligna</i>	5	4,2	3,2	50,2	23,0	17,8	0,3
<i>E. saligna</i>	5	5,0	2,4	54,1	26,3	17,8	-
<i>E. saligna</i>	7	4,7	3,6	54,6	25,8	16,7	0,2
<i>E. saligna</i>	8	2,8	1,6	49,5	24,5	16,2	0,4
<i>E. saligna</i>	8	4,7	1,6	61,5	18,7	18,8	0,3
<i>E. saligna</i>	10	5,2	2,2	47,5	24,4	16,9	0,2
<i>E. saligna</i>	13	7,4	1,7	57,4	21,6	16,9	0,2
<i>E. saligna</i>	15	3,2	1,7	49,5	25,6	16,5	0,3
<i>E. saligna</i>	20	4,6	2,1	45,8	27,8	16,8	0,3
<i>E. grandis</i>	5	1,2	1,8	56,4	27,0	-	0,4
	7	3,2	2,6	55,0	26,2	17,3	-
<i>E. paniculata</i>	6	4,3	0,9	62,9	17,8	25,0	0,4
	10	5,5	1,3	58,4	26,5	19,6	0,6
<i>E. citridora</i>	7	4,1	2,9	61,4	15,3	23,5	0,2
	13	4,5	2,7	56,7	17,8	18,1	0,3
<i>E. urophylla</i>	3	1,9	1,4	52,7	23,6	18,9	-
<i>E. dunii</i>	5	1,8	1,6	56,3	22,6	-	0,5
<i>E. maculata</i>	7	4,6	2,1	58,8	17,5	24,7	0,5
<i>E. tereticorns</i>	7	5,0	0,6	60,2	22,8	19,2	0,3
<i>E. deanei</i>	7	1,6	1,4	53,8	26,8	-	0,4
<i>E. viminalis</i>	11	3,8	1,6	56,3	22,6	-	0,5

Fonte : (IPT) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de S. Paulo 1981.

Nota-se que a espécie utilizada no presente estudo- o *Eucaliptus grandis*, com idade de 5 e 7 anos, apresentou solubilidade em água quente, e em álcool benzeno, com uma pequena porcentagem de variação. Isto significa que, nesta faixa, o material ainda está em idade juvenil e que contém, provavelmente, maior porcentagem de lenho inicial em sua formação sendo, portanto, mais solúvel.

Quanto aos teores de celulose, lignina, pentosanas e cinzas, observa-se que, com o aumento da idade da árvore, a celulose e a lignina tendem a aumentar também para a maioria das espécies.

Devido ao fato de a celulose ser o principal constituinte das paredes das células que formam a estrutura da árvore, pode-se dizer que entre suas características notáveis, cita-se o seu elevado grau de resistência aos ácidos diluídos e a sua insolubilidade em água e em solventes orgânicos. As pentosanas e cinzas sofrem pouca alteração com relação à idade.

Sabe-se que os hidratos de carbono incluem açúcares, polissacarídeos e hidratos compostos. Apesar de se encontrar nas árvores uma ampla variedade de hidratos de carbono, poucos existem em quantidade suficientes, e que mereçam atenção. Os monossacarídeos constituem as unidades de hidratos de carbono básicas a partir das quais se formam outros compósitos mais complexos.

Embora se encontrem apenas vestígios de pentoses livres nas plantas, produtos de sua condensação (pentosanas) são constituintes importantes na constituição das paredes celulares (KRAMER & KOZHORISK, 1960).

2.5. Tipos de cimento

A exemplo de outros materiais obtidos a partir de dois ou mais materiais de características diferentes, o CBVC depende, igualmente, do tipo de matriz adotada em sua fabricação. A constituição química e as diferentes proporções entre os constituintes fundamentais do cimento desempenham um papel fundamental nas características do CBVC.

No quadro 2 apresentam-se os tipos de cimento Portland comercializados no Brasil e suas características principais, segundo a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland).

Quadro 2. Tipos de cimento fabricados no Brasil (ABCP)

Sigla	Designação do cimento Portland	Classes (*)	Normas Regulamentadoras
CPI	Comum	25-32 e 40	EB-1/NBR 5732
CPIS	Comum com adição	25-32 e 40	EB-1/NBR 5732
CPII-E	Composto com escória	25-32 e 40	EB-2138/NBR11578
CPII-Z	Composto com pozolana	25-32 e 40	EB-2138/NBR11578
CPII-F	Composto com filler	25-32 e 40	EB-2138/NBR11578
CPIII	Composto de alto forno	25 e 32	EB-208/NBR 5735
CPIV	Composto com pozolânico	25 e 32	EB-758/NBR 5736
CPV-ARI	Composto de alta resistência inicial	34 (aos 7 dias)	EB-2/NBR 5733

(*)- expressas em termos de resistência mínima à compressão aos 28 dias de idade em MPa.

2.6. 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 (SIMATUPANG et al., 1978).

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 inibitórios;
- secagem das partículas em fornos;
- utilização de cimento de alta resistência inicial (ARI);
- utilização de cimento aluminoso.

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

2.6.1. Lavagem das partículas vegetais

A lavagem permite eliminar certa quantidade de extrativos presentes na biomassa vegetal. 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 & ROLIM (1996) não observaram diferenças significativas na resistência à compressão, quando foram comparados compósitos fabricados com partículas lavadas com não lavadas de *Eucalyptus citriodora*. Aparentemente, a lavagem pode melhorar o comportamento de espécies inibitórias à pega do cimento, não se mostrando eficaz quando se utilizam partículas vegetais moderadamente inibitórias ou não inibitórias.

2.6.2. Pega do CBVC

Vários estudos tem mostrado que a eficiência da pega do cimento depende da composição química de madeira. Os extrativos da madeira são os principais responsáveis pela inibição da pega do cimento.

Segundo SIMATUPANG et. al. (1978), espécies de folhosas tropicais apresentam influência negativa mais pronunciada na pega do cimento, embora o conteúdo de lignina dessas madeiras seja próxima daquele de algumas coníferas. Confirma-se, desse modo, não apenas a importância da concentração das substâncias nocivas, mas, igualmente, do efeito da sua natureza particular.

2.6.3. 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.), além de diminuir o tempo necessário para a desmoldagem de peças fabricadas.

Esse tipo de tratamento pode ser aplicado combinado com o uso de lavagem das partículas vegetais em água quente (BIBLIS & LO, 1968). Vários autores, citados por MOSLEMI et al. (1983), consideraram que alguns aditivos, como, por exemplo, o cloreto de cálcio, podem ser utilizados para acelerar a pega do cimento. Outros, como o cloreto férrico (FeCl_3), sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), cloreto de magnésio (MgCl_2) e hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), têm sido usados para minimizar o efeito inibitório da madeira sobre a pega do cimento. Normalmente usam-se sais com dosagem de 1% a 5% em relação à massa de cimento.

SINGH (1975), estudando o efeito dos produtos gluconato de cálcio, cloreto de cálcio, mistura de gluconato de cálcio e cloreto de cálcio, glicose e mistura de glicose com gluconato de cálcio, sobre a hidratação do cimento, concluiu que o cloreto de cálcio acelerou e o gluconato de cálcio retardou a hidratação do cimento em todas as suas fases. O autor afirmou que o gluconato de cálcio, provavelmente, retarde a pega do cimento através da contaminação do núcleo de alguns hidratos, ou pelo bloqueio da passagem das moléculas de água, através de algum mecanismo de absorção.

Em outro trabalho, SINGH (1976) estudando o efeito dos produtos gluconatos de sódio, potássio, magnésio e cálcio, concluiu que todos estes gluconatos são fortes retardadores da hidratação do cimento, e que o seu poder inibitório obedece à seguinte ordem: gluconato de sódio, de potássio, de magnésio, e de cálcio. Possivelmente, afirmou o autor, essas substâncias retardem a hidratação do núcleo, sendo que a ação retardante de diferentes gluconatos pode estar relacionada ao tamanho dos íons e à eletromagnetividade de íons metálicos.

SIMATUPANG et al. (1978) relataram que aditivos como os *cloretos de cálcio e magnésio, silicatos de sódio ou potássio*, e uma mistura de sulfato de alumínio e cal hidratado, são mais comumente utilizados em uma solução diluída de 1 – 5% em relação à massa de cimento. Uma concentração semelhante de cloreto de cálcio foi citada por LEE (1984).

Nos resultados obtidos por MOSLEMI & AHN (1980), as médias do módulo de ruptura dos compósitos foram quatro vezes superiores quando foi adicionado à mistura, cloreto de cálcio a 3%, baseado na massa combinada de cimento e de madeira.

MOSLEMI et al. (1983) concluíram, através de estudos sobre a curva 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 observou-se a elevação da temperatura de hidratação da pasta de cimento.

2.6.4. Avaliação de propriedades mecânicas de materiais por meio de ultrassonografia .

A principal vantagem dessa técnica é a de evidenciar uma evolução correta da qualidade do material analisado, pois, ao se utilizar aparelhos de ultra-som, pode-se acompanhar a evolução das modificações estruturais através da medida da velocidade de propagação do som. Corpos-de-prova, ou outros materiais fabricados à base de cimento Portland, podem ser avaliados desde as fases iniciais (pega) até o endurecimento.

O equipamento de ultra-som emite um impulso de vibração longitudinal, o qual é produzido por um transdutor eletroacústico, que deve ser mantido em contato com o material. Tal impulso vibratório é captado por um segundo transdutor, no qual o sinal passa a ser convertido em sinal elétrico e em unidades de tempo. O tempo de propagação do som através do material, e a conseqüente velocidade assim obtida, pode caracterizá-lo, servindo tal valor de parâmetro para avaliação das propriedades mecânicas do material.

BODIG & JAINE (1992) indicaram que a técnica utilizada para correlacionar ensaios destrutivos e não destrutivos, consiste de uma análise de regressão linear, dos módulos de ruptura (MOR) encontrados, e da velocidade de propagação obtida em ensaios não destrutivos.

Através dos valores encontrados pode-se traçar um gráfico onde os valores na abscissa são a velocidade (m/s), que se obtém no ensaio não destrutivo, e a ordenada, corresponde aos módulos de ruptura encontrados no ensaio destrutivo.

Cabe ressaltar, no entanto, que tais métodos não destrutivos servem, basicamente, para se efetuar comparações entre materiais de origem conhecida. Desse modo, a ação de adjuvantes no concreto, por exemplo, pode não ser possível de se avaliar, sem um conhecimento prévio da origem do acelerador e da dosagem empregada.

Para compósitos à base de cimento Portland, torna-se possível detectar as fases de pega, e de endurecimento indicadas por, respectivamente: uma elevada taxa de aumento da velocidade de propagação da onda ultrasonora e de uma relativa estabilização no valor da velocidade máxima.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A natureza da fitomassa, assim como as condições de armazenamento à que ela foi submetida antes da fabricação, influem de forma decisiva nas características do CBVC. Desse modo, visando eliminar parte dessas interferências na qualidade do CBVC, no presente trabalho foi adotada, como fonte de matéria prima, a madeira proveniente de apenas uma espécie vegetal, o *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.

No presente trabalho foi adotado um procedimento similar, aquele adotado por Fischer et al (1974), quando efetua-se a amostragem de partes das toras.

3.1. Corte e preparação das partículas vegetais

As árvores selecionadas foram coletadas em três talhões diferentes e com 2 anos consecutivos (1998 e 1999), sendo que de cada um dos talhões retirou-se uma árvore com diferentes idades (3, 5, 7 anos), cujas características estão apresentadas nos quadros 3 e 4.

Quadro 3- Características das árvores abatidas em Novembro de 1998.

Idade (anos)	*DAP (cm)	Altura (m)
3	15,0	18,30
5	20,0	29,60
7	18,0	29,50

(*) Diâmetro à altura do peito, medido à 1,30 m da base do tronco da árvore.

Quadro 4 – Características das árvores abatidas em Julho de 1999.

Idade (anos)	DAP (cm)	Altura (m)
3	13,0	21,60
5	17,0	30,25
7	15,5	28,90

Conforme pode-se observar nos quadros 3 e 4 ocorreu uma pequena variação no desenvolvimento vegetativo das árvores. Em alguns casos, árvores mais velhas mostraram

menor desenvolvimento em diâmetro; tal fato pode ser atribuído às características físicas e químicas do solo.

Das árvores abatidas, foram retirados toretes de 1 m de comprimento, em três posições da árvore, denominadas de base (**B**), meio (**M**) e ponta (**P**). Procurou-se adotar a amostragem na tora de forma que os diferentes toretes fossem retirados em função da altura (**h**) da árvores. Desse modo, adotou-se:

$$\text{Base} = 0,125h;$$

$$\text{Meio} = 0,500h;$$

$$\text{Ponta} = 0,875h.$$

Após efetuar-se o corte das árvores, os toretes obtidos foram transportados para Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, onde foram anotados os valores característicos de cada tipo de material (quadros 5 e 6).

Quadro 5- Características dos toretes de *Eucalyptus grandis*, retirados das árvores abatidas em Novembro de 1998.

Posição de Amostragem	Massa (kg)	Massa sem casca (kg)	$\varnothing_1$ inferior (cm)	$\varnothing_2$ superior (cm)	Volume (cm ³)
Base- 3 anos	18,0	16,0	14,0	14,5	16000
Base- 5 anos	35,0	31,0	18,5	21,0	31000
Base- 6,5 anos	31,5	28,5	17,5	20,0	27700
Meio- 3 anos	7,5	6,5	8,5	9,0	6000
Meio- 5 anos	18,0	14,0	12,0	14,5	13800
Meio- 6,5 anos	16,0	14,5	13,0	13,5	13800
Ponta- 3 anos.	5,0	4,5	6,5	7,5	3800
Ponta- 5 anos.	10,0	8,5	9,5	10,0	8300
Ponta- 7 anos.	9,5	8,5	10,0	10,5	7500

Quadro 6- Características dos toretes de *Eucalyptus grandis* retirados das árvores abatidas em Julho de 1999.

Posição de Amostragem	Massa (kg)	Massa sem casca (kg)	$\varnothing_1$ superior (cm)	$\varnothing_2$ inferior (cm)	Volume (cm ³)
Base- 3.5 anos	19,0	15,5	14,5	13,0	15000
Base- 5.5 anos	29,0	25,0	19,0	17,0	17000
Base- 7 anos	23,5	20,0	17,0	13,5	18000
Meio- 3.5 anos	10,0	9,0	11,5	10,5	9000
Meio- 5.5 anos	19,0	17,5	15,0	14,5	17000
Meio- 7 anos	14,5	13,5	13,0	12,5	13000
Ponta- 3.5 anos	6,5	6,0	8,5	8,0	5000
Ponta- 5.5 anos	15,0	13,5	12,5	12,5	12000
Ponta- 7 anos	10,5	9,5	11,5	10,5	9000

Após a pesagem dos toretes, com e sem casca, fez-se a medição dos respectivos diâmetros e, então, calculou-se o volume de cada tora.

Observou-se que, para o material cortado em Novembro-98, as árvores com idades de 5 anos possuíam massa, diâmetro e alturas superiores àquelas com idade de 7 anos. O mesmo aconteceu com as árvores cortadas em Julho-99. Provavelmente, tal fato deva-se ao tipo de solo em que as árvores se encontravam (solos menos explorados por florestas implantadas e, portanto, menos desgastados). Essas observações foram feitas em sítio, onde verificou-se que a vegetação natural era bastante desenvolvida nas laterais dos talhões, podendo a floresta ser considerada como quase que uniforme.

Após a retirada da casca os toretes foram transformados em fragmentos do tipo maravalha, com espessura aproximada de 1 mm e comprimento na ordem de 5 cm, utilizando-se uma Cepilhadeira Volpato (4 eixos – 12 facas), pertencente ao CEMIB – UNICAMP (figura 1).



Figura 1- Cepilhadeira: obtenção das partículas de eucaliptos oriundos dos toretes.

As partículas obtidas, através da fragmentação dos toretes, foram colocadas ao sol, por um período de, aproximadamente, 8 horas (figura 2). Após isso, as mesmas foram embaladas em sacos plásticos e armazenadas em locais abrigados, até o momento em que tais partículas foram desintegradas em moinho de martelo Nogueira, pertencente ao Campo Experimental da FEAGRI.



Figura 2- Secagem de partículas ao sol.

3.2. Propriedades físicas das partículas vegetais

3.2.1. Granulometria

A análise granulométrica das partículas foi feita utilizando-se 50 g do material (biomassa vegetal) passante nas peneiras de malhas: 4,80, 2,40, 1,20, 0,60, 0,30, 0,15 mm e fundo. Para cada amostragem calculou-se o ϕ máximo e o módulo de finura do agregado, adotando-se procedimentos adaptado a NBR 7211.

ϕ máximo = abertura da peneira onde ficou retida e acumulada a porcentagem de partículas imediatamente inferior a 5%.

Após distribuição granulométrica e determinação do ϕ máximo do material, pôde-se determinar o módulo de finura, dado por:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retidas acumuladas}}{100} \quad (1)$$

3.2.2. Umidade

O conhecimento do teor de umidade da biomassa vegetal é muito importante durante a execução do traço da mistura do compósito. Desse modo, as partículas vegetais foram utilizadas na condição seca ao ar (ambiente abrigado) após 2 meses, sendo após armazenadas em sacos plásticos. A umidade, por ocasião dos ensaios foi determinada por:

$$h = \frac{mh - mo}{mo} \cdot 100\% \quad (2)$$

onde:

h = umidade (%);

mh = massa úmida (g);

mo = massa anidra (g).

3.2.3. 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. O

becker foi pesado antes e após a colocação das partículas vegetais. A massa específica aparente foi calculada por:

$$MEA = \frac{mt - mf}{Vf} \quad (3)$$

onde:

MEA = massa específica aparente (g/cm³);

mt = massa total (g);

mf = massa do becker (g);

Vf = volume do becker (2000 cm³).

3.3. Tratamentos Físicos

A maioria das espécies vegetais, sobretudo de árvores folhosas, mostra-se inadequada para uso direto com o cimento Portland. Dessa forma, foram adotados procedimentos que buscavam, em primeira instância, adequar a fitomassa à matriz. Foram adotados os seguintes procedimentos durante a realização dos experimentos:

Época de corte: devido à limitação de tempo para a execução dos ensaios foram escolhidas apenas duas estações do ano (primavera e inverno), para verificar suas possíveis influências nas modificações das características da fitomassa. Os cortes para usos desses materiais receberam as seguintes denominações:

- **VER-DEZ** (corte no Verão e uso em Dezembro)
- **INV-JULH** (corte no Inverno e uso em Julho)

Armazenamento da fitomassa: embora os resultados obtidos em pesquisas anteriores a esse respeito não pudessem ser generalizados, sob determinadas condições de armazenamento pôde 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 do armazenamento das partículas vegetais, em ambientes protegidos ou não, sobre as características do CBVC. Neste trabalho verificou-se o

efeito do armazenamento do material cortado no verão, e deliberadamente deixado na mata, para que pudesse ser processado em julho (corte/uso- **VER-JULH**).

Lavagem das partículas : a lavagem das partículas de eucalipto foi realizada segundo metodologia adaptada por BERALDO & ROLIM (1996); que consistiu na imersão do material em água quente (80 °C), por um período de 2 horas, para eliminar ao máximo as substâncias químicas inibitórias à pega do cimento. Em seguida, o material passou por um processo de secagem ao ar livre, e após isso, foi embalado em sacos plásticos e guardado em locais abrigados.

3.4. Tipos de matriz

O tipo de 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 o agregado de origem vegetal. Para verificar tal influência testou-se o efeito de dois tipos de cimento, a saber, cimento CP II-E-32 (NBR 11578) e CP V-ARI (NBR 5733), na confecção dos corpos-de-prova. Os tratamentos foram denominados, respectivamente de **CP II** e **ARI**. O primeiro deles foi doado pela Votorantim; o segundo, de marca Cauê, foi adquirido no comércio local.

3.5. Amostragem

3.5.1. - Efeito da posição

Conforme detalhado anteriormente estudou-se os possíveis efeitos ocasionados em compósitos fabricados com materiais provenientes de três regiões do tronco, a saber: base (**B**), meio (**M**) e ponta (**P**).

3.5.2. - Efeito da idade da tora

Buscou-se verificar o possível efeito da idade da tora na qualidade do compósito. Para tanto, foram escolhidos os seguintes tratamentos:

- **3 anos;**
- **5 anos ;**

- 7 anos.

3.6. Confeção dos corpos-de-prova

Uma vez peneiradas as partículas vegetais, escolheu-se a granulometria desejada (passante na peneira de 2,40 mm), e, após, eventualmente tratadas conforme necessidade do tipo de material em estudo, pôde-se iniciar a confecção dos corpos-de-prova. Para tanto, procurou-se, à medida do possível, obedecer as recomendações da NBR-7215.

As partículas foram inicialmente misturadas ao cimento e, após a homogeneização, lentamente adicionou-se a água de amassamento, até atingir-se a consistência necessária. A mistura foi, então, colocada em fôrmas metálicas e compactada manualmente com o auxílio de um soquete, conforme detalhado por ZUCCO (1999). Efetuou-se três repetições por tipo de tratamento.

3.7. Escolha do traço inicial

Para a fabricação de três corpos-de-prova cilíndricos (diâmetro de 50 mm e altura de 100 mm), para cada tipo de tratamento, adotou-se a seguinte quantidade de materiais:

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**. Procurou-se fixar o traço, levando-se em consideração resultados de trabalhos anteriores, os quais indicaram as quantidades necessárias para se obter três corpos-de-prova para cada mistura (critério da dosagem constante dos materiais).

Tomou-se o máximo cuidado quando da adição de água à mistura, pois um excesso de água poderia comprometer a integridade dos corpos-de-prova, quando da sua desforma; ao contrário, a falta de água provocaria um ressecamento da mistura, o que dificultaria a sua colocação na fôrma, aumentando a heterogeneidade do corpo-de-prova.

Após preenchimento das fôrmas, aguardou-se cerca de 24 horas, antes que os corpos-de-prova fossem desmoldados. A cura foi efetuada em ambiente de laboratório durante cerca de 28 dias.

3.8. Ensaios físicos

Testes calorimétricos foram inicialmente utilizados por diversos pesquisadores para avaliar o grau de inibição de cada matéria prima utilizada na fabricação de compósitos à base de fitomassa e cimento. O material retido nas peneiras #100 (0,149 mm) foi utilizado em mistura com a nata de cimento. A metodologia e a quantidade dos materiais utilizadas foram modificadas de experimentos anteriores de WEATHERWAX & TARKOW (1964), ou seja, 100 g de cimento e 7,5 g de madeira anidra. A quantidade de água correspondeu a 0,25 vezes a massa de cimento acrescida de 2,5 vezes a massa de madeira anidra totalizando, portanto, 43,75 ml. Embora existam atualmente sérias restrições quanto à adoção de tal método para avaliar a compatibilidade entre a madeira e o cimento (LEE & SHORT, 1989), trata-se de um procedimento clássico que mostra uma condição necessária, porém não suficiente, para a escolha de fitomassa adequada para a fabricação do CBVC.

A mistura da pasta de cimento com a madeira foi envolvida em papel alumínio e colocada em um calorímetro. Um sistema de aquisição de dados (datalogger Novus) permitiu efetuar o acompanhamento da variação da temperatura da mistura ao longo do tempo (Figura 3).

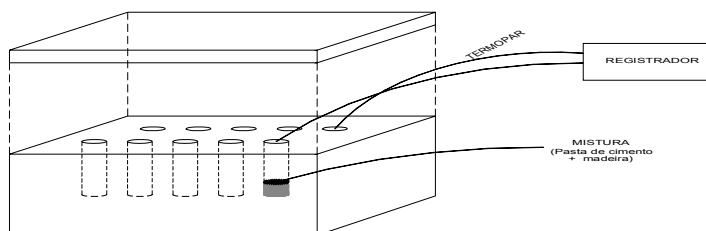


Figura 3- Montagem experimental para o teste calorimétrico.

A medição da temperatura máxima alcançada pela mistura e do tempo necessário para tal ocorrência, comparados com dados análogos obtidos com a pasta de cimento, permitiram avaliar o grau de inibição da madeira, indicado através de índices definidos em trabalhos anteriores (VALENZUELA, 1989; MILLER & MOSLEMI, 1991).

A questão da incompatibilidade química pode ser analisada sobre duas vertentes principais: a primeira relaciona-se com as peculiaridades da fitomassa (tratamentos físicos), enquanto que a segunda volta-se para a modificação nas características da matriz pela adição de aceleradores de pega.

3.9. Ensaios mecânicos

3.9.1. Métodos não-destrutivos

Foi acompanhada a evolução da etapa de endurecimento da mistura através da análise da velocidade de propagação de onda ultra-sônica, ao longo do tempo, através de duas direções: longitudinal (paralela à direção de deposição do material) e diametral (transversal à direção anterior).

O ensaio foi conduzido em laboratório, com o auxílio do equipamento Ultrasonic Tester BP-7 (figura 5). O período de observação foi da ordem de uma semana, pois, em períodos mais prolongados não se notou modificação no sinal captado pelo sensor eletromagnético. Verificou-se, igualmente, a existência de dependência entre a velocidade de propagação da onda ultra sonora e a resistência do corpo-de-prova após serem submetidos à compressão simples.



Figura 4 – Aparelho Ultrasonic Tester BP 7 (Steinkamp)

3.9.2. Métodos destrutivos

Para análise da resistência à compressão dos corpos-de-prova, os mesmos foram submetidos a um carregamento em máquina universal de ensaios Versa Tester, 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 comparação das médias dos tratamentos, através do teste de Tukey (a 5% de significância).

No quadro 7 apresenta-se um exemplo da preparação dos dados para se efetuar a análise estatística dos resultados. A organização dos dados obedeceu a seguinte estrutura: inicialmente para cada tipo de corte e uso (**VD**- verão-dezembro, **VJ**- verão-julho e **IJ**- inverno-julho) digitava-se os tipos de tratamentos (**N**atural e **L**avado); as posições (**B**ase, **M**eiro e **P**onta); as idades (**3** Anos, **5** Anos e **7** Anos), para o cimento (CP **II**-E-32 e CP-**V**-ARI). Desse modo, foram analisados os resultados de 324 corpos-de-prova submetidos à compressão simples, correspondendo a 3 repetições de 3 tipos de cortes-usos, 2 tipos de cimento, 3 idades, 3 posições e 2 tratamentos

Quadro 7- Exemplo da preparação dos dados de entrada

Corte e Uso	Tipo de cimento	Idade (anos)	Posição	Trat.	Resistência Compressão
VER-DEZ	II	3	B	NAT	5,7; 6,0; 6,1
VER-DEZ	II	3	B	LAV	4,4; 3,2; 4,3
VER-DEZ	II	3	M	NAT	5,1; 5,2; 5,7
VER-DEZ	II	3	M	LAV	2,5; 2,2; 2,3
VER-DEZ	II	3	P	NAT	3,8; 4,0; 3,8
VER-DEZ	II	3	P	LAV	2,9; 2,5; 2,9

3.10. Fabricação de artefatos à base de cimento Portland e partículas de Eucalipto grandis

3.10.1. Placas prensadas

Na confecção das placas prensadas foram adotados os tratamentos que foram mais adequados para obter-se compósitos de maior resistência à compressão. Após a análise estatística dos dados obtidos no ensaio de compressão simples dos corpos-de-prova, iniciou-se a etapa de fabricação de placas prensadas. A dimensão das fôrmas foi definida em trabalho

anterior (ZUCCO, 1999), obedecendo as seguintes medidas internas: 46,5 cm x 61,0 cm x altura variável. A mistura foi efetuada em amassadeira de panificadora, de marca Hypolito (figura 5), colocada nas fôrmas, e prensada com uma carga de 20 toneladas, em prensa hidráulica convencional, marca Charlotte, modelo PH 30, com capacidade nominal de 30 t, onde a carga/área $\cong 7,1 \text{Kg}/\text{cm}^2$, e um sistema de parafusos que mantém a prensagem por um período pré determinado (24h). (Figura 6).



Figura 5- Amassadeira de panificadora



Figura 6- Prensa hidráulica Charlotte PH-30.

As placas foram desmoldadas após 48 horas, e apresentaram um bom acabamento superficial, indicando apenas alguns problemas com relação à homogeneidade de deposição das misturas, acarretando em dificuldade de se manter constante a espessura desejada (figura 7).



Figura 7- Placas após a desmoldagem

3.10.2. Ensaio não destrutivo de placas

Das placas foram eliminadas as regiões nas quais haviam sido colocados os parafusos para fixação, ficando as mesmas com 510 mm x 370 mm. Logo após a desmoldagem as placas foram submetidas ao teste de ultra som, efetuado em diversos pontos ao longo das faces superior e inferior, visando avaliar-se a possível heterogeneidade do material. Repetiu-se o procedimento ao longo da etapa de secagem (figura 8).

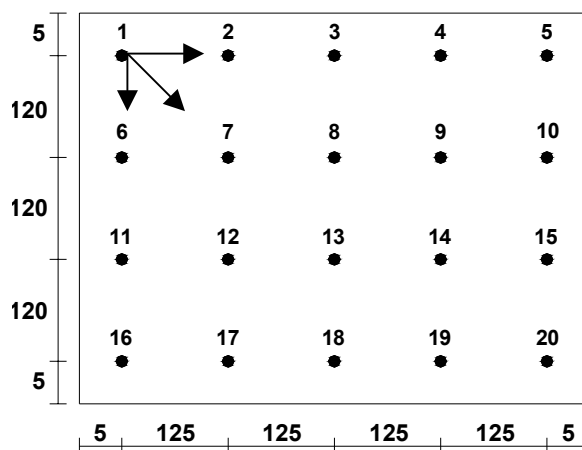


Figura 8- Esquema para medição da velocidade de propagação superficial nas placas

Após a análise por ultra-som, as chapas foram cortadas em corpos-de-prova para teste de flexão estática, estabilidade dimensional e absorção de água. Dentro das possibilidades, adotou-se a norma ASTM D-1037 para a avaliação do material.

3.10.3. Ensaios destrutivos de corpos-de-prova originários das placas

3.10.3.1 Flexão estática

As placas foram serradas utilizando-se de uma serra circular com dentes de vídea (3 mm), para a obtenção de corpos-de-prova de acordo com a ASTM-D 1037 (figura 9).

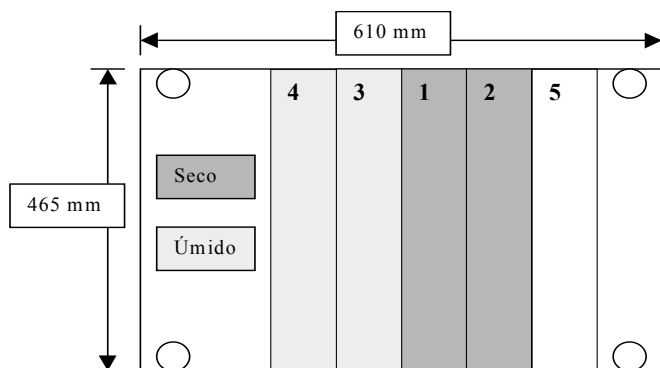


Figura 9- Posição dos corpos-de-prova, retirados da placas para ensaio de flexão estática.

Na figura 10 apresenta-se um esquema do carregamento estático, realizado através de uma prensa MTS (Material Testing System), da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP.

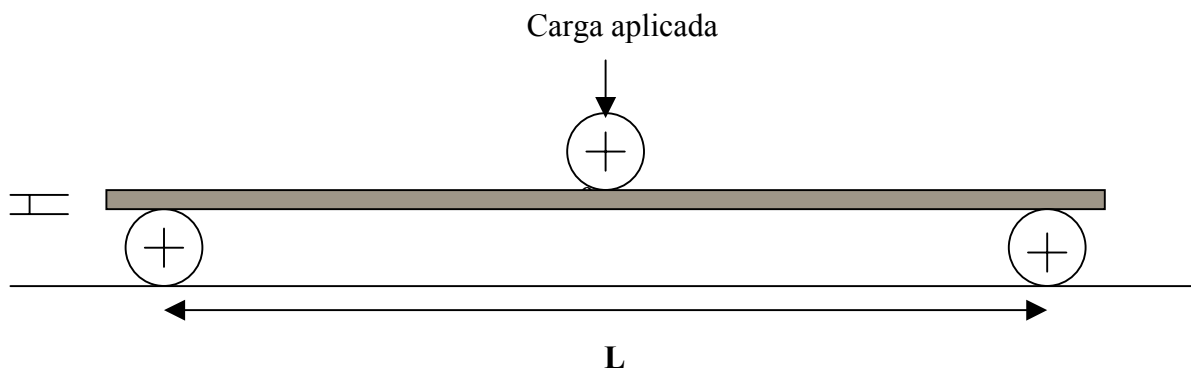


Figura 10- Esquema do carregamento estático.

No quadro 8 apresentam-se os parâmetros de ensaios indicados pela norma ASTM D-1037, utilizados na avaliação da resistência à flexão estática.

Quadro 8- Recomendações para ensaio de flexão estática (ASTM D 1037)

Espessura (mm)	Velocidade(mm/min)	Vão ou L (mm)	Largura (mm)
15	7,5	360	76
16	8,0	384	76
17	8,5	408	76
18	9,0	432	76

3.10.3.2. Ensaio de compressão paralela à superfície

Na figura 11 observam-se as posições segundo as quais foram extraídos os corpos-de-prova utilizados no ensaio de compressão paralela à superfície, bem como as partes a serem descartadas.(ZUCCO, 1999).

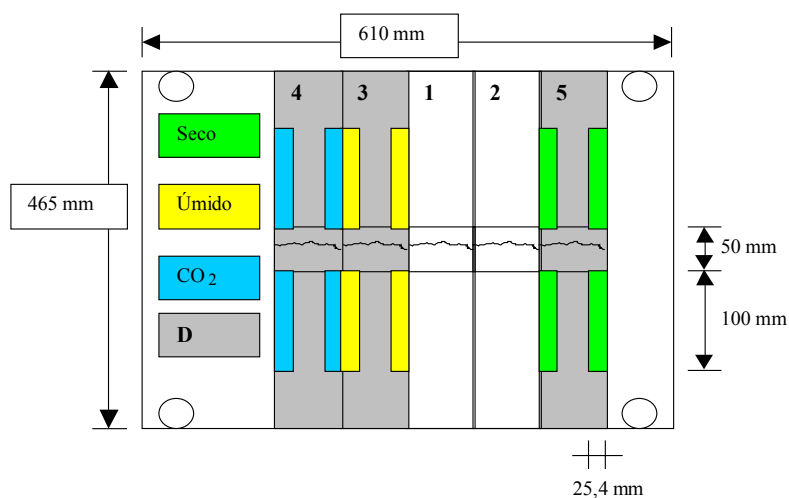


Figura 11- Extração de corpos-de-prova para ensaio de compressão paralela a superfície.

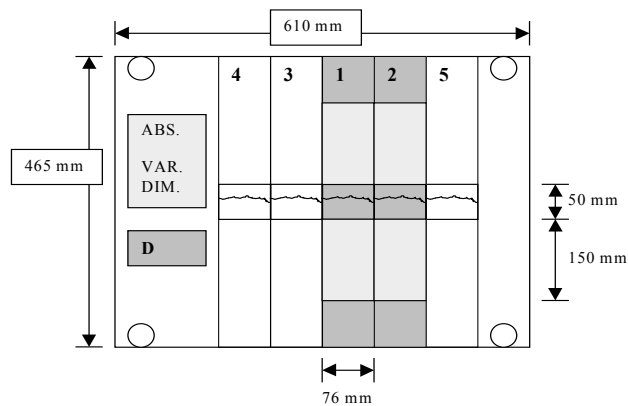
Após realização do teste não destrutivo, foi realizado o ensaio de compressão paralela à superfície, utilizando uma máquina universal de ensaios (VEB Werkstoffpruf Maschinen) pertencente ao Departamento de Máquinas Agrícolas da FEAGRI.

Conforme recomenda a norma ASTM D-1037, os corpos-de-prova, para o ensaio de compressão paralela à superfície, devem possuir 100 mm de altura e 25,4 mm de largura. Quanto à

espessura, a mesma permaneceu aquela indicada na placa, ou seja, da ordem de 15 mm; a velocidade de carregamento adotada foi a mesma utilizada no ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, ou seja, de 0,3 MPa/s.

3.10.4. Ensaio de Absorção de água e variação dimensional de placas.

Para os ensaios, foram utilizados partes dos corpos-de-prova (figura 12), que haviam sido ensaiados à flexão estática (figura 9), conforme previsto na norma ASTM D-1037.



Obs: (D) = Descarte.

Figura12-. Extração de corpos-de-prova para ensaio de absorção de água e variação dimensional.

Foram descartadas as partes extremas dos corpos-de-prova fazendo-se com que os mesmos apresentassem as seguintes dimensões: 76 mm (largura) e 152 mm de comprimento e espessura de 15 mm (figura 13). As medidas foram adotadas em função do que a norma permite, para os casos onde não se possa obter peças de acordo com as dimensões recomendadas (304 mm x 304 mm).

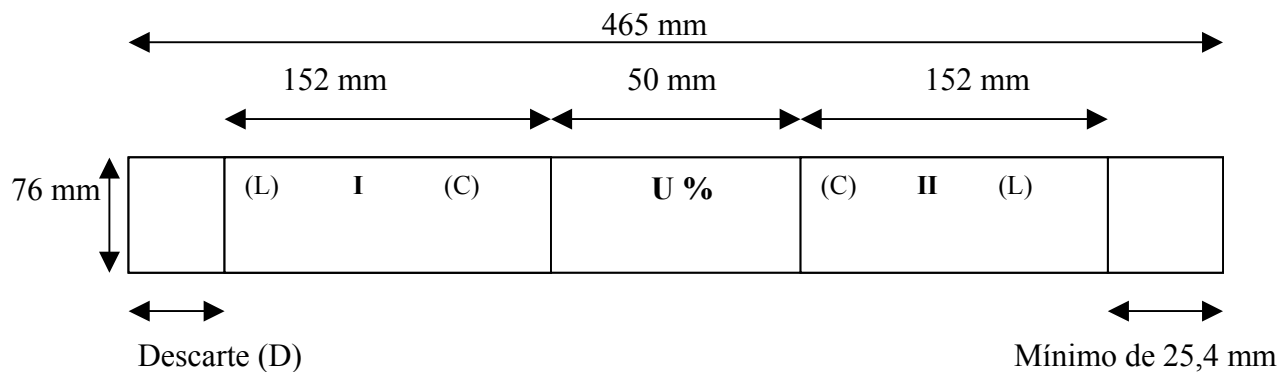


Figura 13- Corpos-de-prova para determinação de umidade, absorção de água e variação dimensional.

Após corte das peças (corpos-de-prova), determinou-se sua massa na condição de seca ao ar, através da balança de marca Marte, de sensibilidade igual a 0,01 gramas. Uma vez pesadas as placas, determinou-se as medições do comprimento, largura e espessura (figura 14), utilizando-se de um paquímetro digital marca Digimess, com sensibilidade de 0,01 mm.

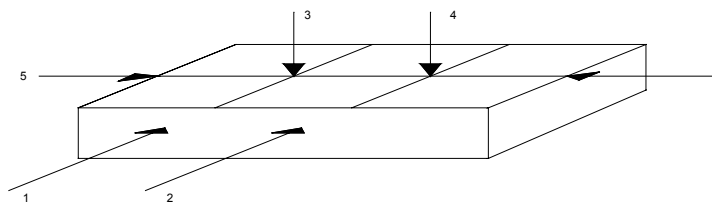


Figura 14- Locais marcados nos corpos-de-prova, utilizados para medição.

Os corpos-de-prova, após determinação da massa e das dimensões iniciais, na condição de secos ao ar, foram imersos em água por um período de 2 horas.

Após o término deste período os corpos-de-prova, foram retirados, enxugados com auxílio de papel toalha, e, então, novamente pesados e medidos. Após determinação das dimensões, os corpos-de-prova voltaram a serem imersos em água e, após 24, 48 e 168 horas, foram realizadas novas pesagens e medições.

As variações dimensionais foram obtidas através de:

$$VD = \frac{(Du - Ds)}{Du} \cdot 100\%$$

Onde :

V = Variação dimensional em porcentagem;

Du = Dimensão da peça na condição úmida;

Ds = Dimensão da peça na condição anidra (estufa).

A norma (ASTM D-1037), para o cálculo de absorção de água, também refere-se à mesma expressão dos resultados, em porcentagem de volume e de massa. Portanto, adotou-se:

$$ABSp = \frac{Mu - Ms}{Mu} \cdot 100\%$$

Onde:

ABSp = Absorção de água, em porcentagem de massa;

Mu = Massa do corpo-de-prova, nos diferentes tempos de imersão (g);

Ms = massa do corpo-de-prova, na condição seco em estufa (g).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Propriedades físicas das partículas de *E. grandis*

4.1.1. Análise granulométrica.

A análise granulométrica foi feita utilizando-se partículas de *E. grandis*, nas condições Natural e Lavada. Para cada amostragem foram calculados o diâmetro máximo e módulo de finura, adaptando-se a NBR 7211 (ABNT).

Para ambas as situações constatou-se que o diâmetro máximo do agregado foi de 4,76 mm (ou seja, nessa abertura de peneira ficou retida acumulada menos de 5% do total); o módulo de finura foi da ordem de 3,70 mm, caracterizando o material como similar (em termos de distribuição granulométrica) à areia média.

4.1.2. Teor de umidade das partículas

Não se observou diferença significativa entre o teor de umidade das partículas provenientes de diferentes árvores, assim como, entre os materiais originários de três regiões de amostragem (base, meio e ponta) de uma mesma árvore. O teor de umidade das partículas situou-se entre 8 e 9%, sendo, doravante, considerado constante quando da fabricação do compósito.

4.1.3. Massa específica aparente das partículas

O material provenientes das árvores mais velhas apresentou massa específica aparente mais elevada, tendo sido igual tendência verificada também para o material originário da base. Os valores médios obtidos foram de 99 g/dm³ (mínimo de 87 g/dm³ e máximo de 114 g/dm³). Para efeito prático, no entanto, não será considerado que essa variação possa interferir de forma significativa nas características do compósito.

4.2. Características do compósito madeira – cimento Portland

4.2.1 Curva de hidratação

Os resultados obtidos no ensaio foram insatisfatórios, pois apenas para alguns tipos de mistura ocorreu ligeira elevação de temperatura, mesmo após transcorrer um tempo muito longo.

Baseado nessas informações pode-se concluir que o material analisado é inibitório à pega dos dois tipos de cimento utilizados, ou então que a energia liberada durante a hidratação do cimento não tenha sido suficiente para sensibilizar os termopares (figuras 15 e 16). Deve ser lembrado que as condições nas quais se desenvolveu o ensaio foram diferentes daquelas recomendadas por WEATHERWAX e TARKOW (1964).

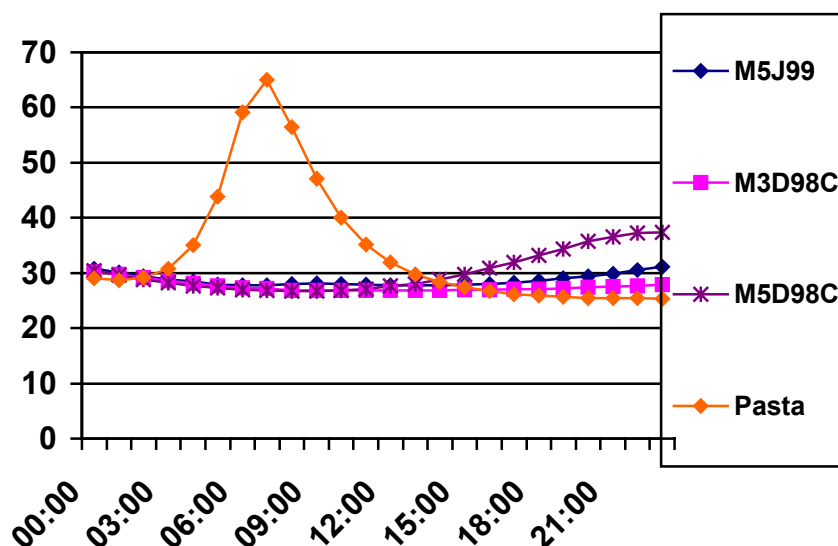


Figura 15- Curvas de hidratação da pasta e de misturas à base de CP V-ARI

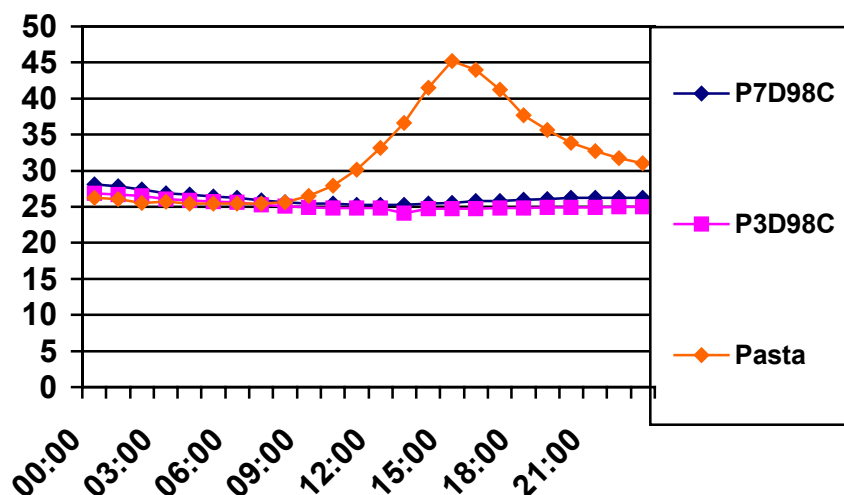


Figura 16- Curvas de hidratação de pasta e de misturas à base de CP II-E-32

4.2.2. Curva de secagem

A umidade inicial dos corpos-de-prova, após a moldagem, mostrou-se muito elevada (de 35 a 50%), denotando que houve um excesso de água durante sua preparação. Após 28 dias de secagem ao ar livre, no entanto, o teor de umidade dos corpos-de-prova situou-se entre 10 a 15%, dependendo das condições ambientais. Considerou-se para todas as situações analisadas que o material se encontrava na condição seco ao ar. Embora tenham sido analisadas todas as curvas de secagem optou-se por apresentar apenas um exemplo delas (figura 17), pois o comportamento das diferentes misturas submetidas à secagem não mostrou grandes variações.

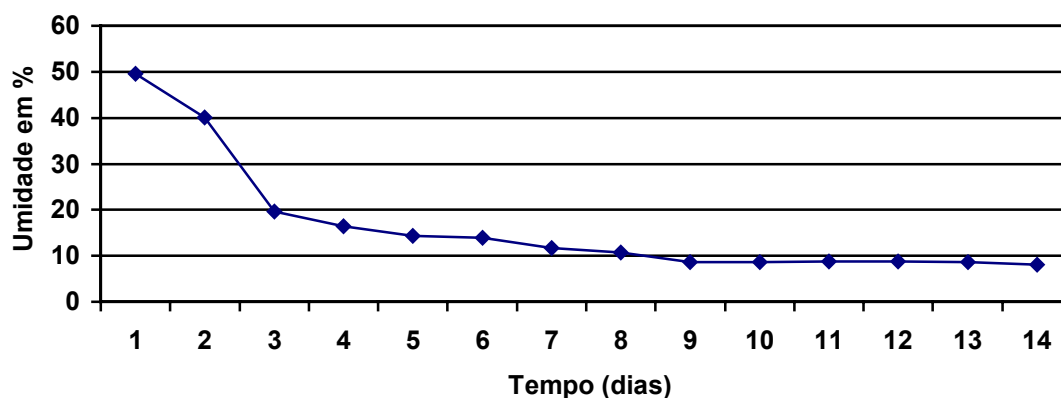


Figura 17- Curva de secagem da amostra B3 IJ- CP II-E-32

4.2.3 Massa específica aparente

A massa específica aparente das diferentes misturas também não apresentou variações significativas. Variou entre 935 e 1176 kg/m³, provavelmente, devido às condições operacionais sob as quais se aplicou a colocação das misturas nas fôrmas. No entanto, em misturas onde a fitomassa tenha sido mais inibitória, ocorreu a tendência de haver maior perda de água por evaporação, pois a mesma não foi utilizada plenamente na reação com o aglomerante. Desse modo, contrariamente ao que ocorre para a maior parte dos materiais de construção, talvez a massa específica aparente não possa ser utilizada para a avaliação do comportamento mecânico do compósito, sobretudo nos casos em que não tenha ocorrido compatibilidade química fitomassa-cimento.

4.2.4 Propriedades mecânicas

4.2.4.1. Ensaio de ultra-som de corpos-de-prova cilíndricos

Nas figuras 18 e 19 pode-se observar a evolução das velocidades de propagação da onda ultra-sônica nas direções transversal e longitudinal, respectivamente. De acordo com as figuras, a velocidade obtida segundo a direção diametral é superior àquela correspondente à direção longitudinal. Dois fatores contribuem para que ocorra tal fato: o primeiro refere-se ao efeito de confinamento da mistura exercida pelas paredes da fôrma, e o segundo refere-se à heterogeneidade da base superior do corpos-de-prova, responsável por dissipação de energia durante o ensaio, devido ao acabamento inadequado dessa superfície. Verificou-se, igualmente, menor perturbação da variação da velocidade obtida na direção transversal ao longo do tempo.

Ainda, de acordo com as figuras 18 e 19, alguns tratamentos mostraram-se aparentemente mais eficazes, denotado tal fato pela maior velocidade de propagação da onda ultra-sônica. Desse modo, poder-se-ia antever que os tratamentos **M5IJ** e **P5IJ** seriam os mais interessantes na fabricação do compósito à base de partículas dessa espécie de madeira.

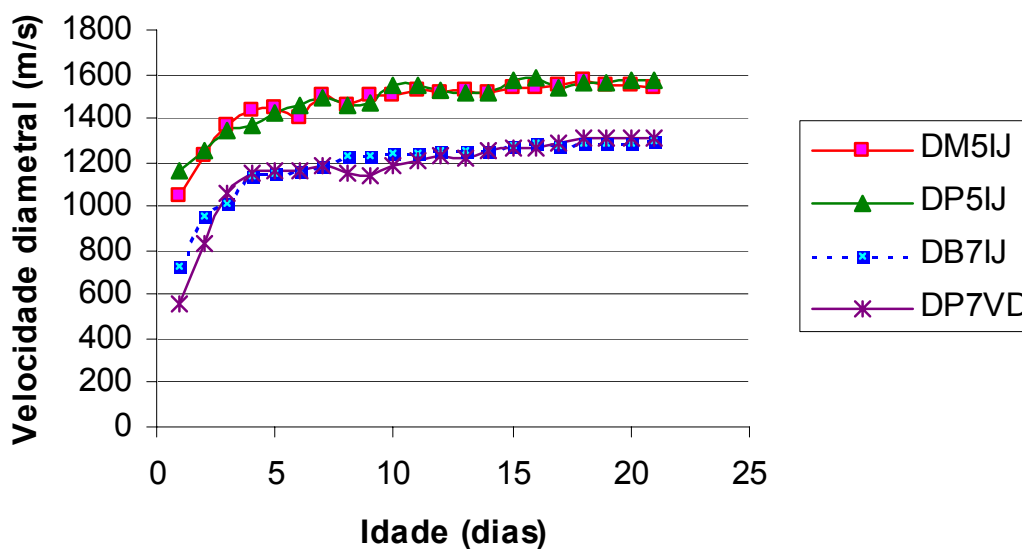


Figura18 – Velocidade de propagação da onda ultra-sônica na direção transversal

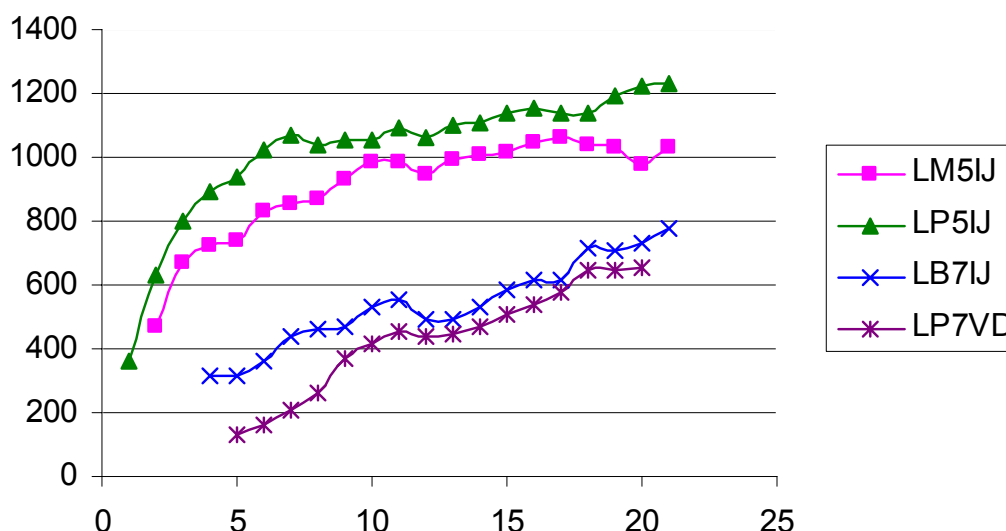


Figura 19– Velocidade de propagação da onda ultra-sônica na direção longitudinal

4.2.4.2. Compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos

Na maioria dos casos observados o compósito mostrou ruptura dúctil, a qual é característica de matrizes reforçadas com materiais com baixo módulo de elasticidade. Tal fato denota que o compósito pode vir a desempenhar um papel importante na segurança da construção.

A média global da resistência à compressão dos diversos tratamentos efetuados foi de 6,74 MPa e o coeficiente de variação foi de apenas 10%.

A análise de variância dos resultados do ensaio de compressão simples indicou a grande influência das variáveis testadas, sobretudo do tipo de cimento, da idade da árvore, da época de corte e uso, da posição de amostragem, além do efeito das diversas interações entre elas, principalmente época de corte/uso x idade e época de corte/uso x tipo de cimento.

Contrariamente ao esperado, o tratamento de lavagem preliminar das partículas não surtiu efeito. Cabe ressaltar, no entanto, que trabalho anterior de BERALDO e ROLIM (1996) também já havia indicado a não necessidade de se efetuar a lavagem de partículas de *E. citriodora*, quando da confecção de corpos-de-prova à base de cimento Portland. Conforme resultados do IPT- quadro1, observou-se que a solubilidade do *E. grandis*, em água quente, quando utilizado o material com

idade de 5 e 7 anos, houve uma pequena porcentagem de variação, o que indica que o material ainda está em idade juvenil, tendo maior porcentagem de lenho na sua formação, sendo portanto mais solúvel.

Embora tenha sido muito difícil efetuar a análise estatística dos resultados, tendo em vista a grande quantidade de interações observadas, a comparação das médias através do teste de Tukey (5%) indicou determinadas tendências:

Comentário geral: deve-se ressaltar que as análises a serem apresentadas só podem ser consideradas à luz das condições em que foi desenvolvido o presente experimento. Qualquer modificação no traço e, principalmente, a adição de aceleradores, deve modificar substancialmente os resultados obtidos não fazendo parte, portanto, do escopo do presente estudo.

a- Época de corte e de uso.

De uma forma global (ou seja, sem considerar as diferenças ocasionadas pelos fatores envolvidos no experimento, tais como, tipo de cimento, idade, posição e tratamento) o teste de Tukey (5%) indicou haver diferença significativa devido à época de corte/uso do material na resistência à compressão do compósito. Os tratamentos **VD** (corte e uso em dezembro) e **IJ** (corte e uso em julho) não apresentaram diferença estatística entre si, sendo a resistência média em compressão de, respectivamente, 7,78 MPa e 7,60 MPa. O tratamento **VJ** (corte em dezembro e permanência no campo até julho), por sua vez, forneceu 4,83 MPa, denotando o efeito nocivo do ataque biológico da madeira, na fabricação do compósito.

a.1 Efeito das variáveis isoladas

Considerando-se apenas o uso do *cimento* observou-se que para o uso do CP II-E-32 (mantidos todos os outros fatores), a análise estatística indicou haver diferenças significativas entre as épocas de corte/uso. Com efeito, verificou-se a seguinte gradação (doravante adotando-se o sinal > quando houver diferença significativa entre os valores): **VD** (5,99 MPa) > **IJ** (4,39 MPa) > **VJ** (3,31 MPa). Para o CP V-ARI, igualmente, as diferenças foram significativas e: **IJ** (10,82 MPa) > **VD** (9,56 MPa) > **VJ** (6,35 MPa).

Considerando-se apenas o efeito da *idade* de abate das toras verificou-se que:

3 anos: **IJ** (6,47 MPa) = **VD** (6,20 MPa) > **VJ** (3,00 MPa);

5 anos: **IJ** (8,95 MPa) ≥ **VJ** (8,86 MPa) ≥ **VD** (8,50 MPa);

7 anos: **VD** (8,63) > **IJ** (7,40 MPa) > **VJ** (2,63 MPa).

Considerando-se apenas o efeito da *posição* de amostragem das toras verificou-se que:

Base: **IJ** (8,36 MPa) = **VD** (8,22 MPa) > **VJ** (6,16 MPa);

Meio: **IJ** (7,67 MPa) = **VD** (7,37 MPa) > **VJ** (4,69 MPa);

Ponta: **VD** (7,75 MPa) > **IJ** (6,79 MPa) > **VJ** (3,65 MPa).

Considerando-se apenas o efeito da *lavagem* das partículas vegetais verificou-se que:

Natural: **IJ** (7,83 MPa) = **VD** (7,59 MPa) > **VJ** (4,71 MPa);

Lavado: **VD** (7,96 MPa) > **IJ** (7,38 MPa) > **VJ** (4,96 MPa).

a.2 Efeito de variáveis tomadas duas a duas:

Cimento CP II-E-32 e idade da árvore

3 anos: **VD** (4,03 MPa) > **IJ** (2,84 MPa) > **VJ** (1,78 MPa);

5 anos: **VD** (7,14 MPa) > **VJ** (6,46 MPa) > **IJ** (5,45 MPa);

7 anos: **VD** (6,80 MPa) > **IJ** (4,87 MPa) > **VJ** (1,771 MPa).

Cimento CP V-ARI e idade da árvore

3 anos: **IJ** (10,09 MPa) > **VD** (8,37 MPa) > **VJ** (4,22 MPa);

5 anos: **IJ** (12,44 MPa) > **VJ** (11,27 MPa) > **VD** (9,86 MPa);

7 anos: **VD** (10,46 MPa) > **IJ** (9,93 MPa) > **VJ** (3,55 MPa).

Cimento CP II-E-32 e posição de amostragem na árvore

Base: **VD** (6,89 MPa) > **IJ** (5,27 MPa) > **VJ** (3,63 MPa);

Meio: **VD** (5,66 MPa) > **IJ** (4,41 MPa) > **VJ** (3,57 MPa);

Ponta: **VD** (5,43 MPa) > **IJ** (3,49 MPa) > **VJ** (2,74 MPa).

Cimento CP V-ARI e posição de amostragem na árvore

Base: **IJ** (11,46 MPa) > **VD** (9,55 MPa) > **VJ** (8,69 MPa);

Meio: **IJ** (10,92 MPa) > **VD** (9,07 MPa) > **VJ** (5,80 MPa);

Ponta: **IJ** (10,08 MPa) = **VD** (10,07 MPa) > **VJ** (4,55 MPa).

Cimento CP II-E-32 e lavagem das partículas

Natural: **VD** (6,55 MPa) > **IJ** (4,32 MPa) > **VJ** (3,38 MPa);

Lavado: **VD** (5,44 MPa) > **IJ** (4,46 MPa) > **VJ** (3,25 MPa).

Cimento CP V-ARI e lavagem das partículas

Natural: **IJ** (11,33 MPa) > **VD** (8,64 MPa) > **VJ** (6,03 MPa);

Lavado: **VD** (10,49 MPa) = **IJ** (10,31 MPa) > **VJ** (6,66 MPa).

a.3 Efeito de variáveis tomadas três a três:

a.3.1 Cimento x idade x posição

Hipótese: material coletado em épocas diferentes e procedente de toras com a mesma idade pode ser misturado?

Cimento CP II-E-32, idade 3 *anos* e posição de amostragem

Base: **VD** (4,95) = **IJ** (4,05) > **VJ** (2,10);

Meio: **VD** (3,83) > **VJ** (1,80) = **IJ** (1,75);

Ponta: **VD** (3,32) = **IJ** (2,73) > **VJ** (1,43).

Cimento CP II-E-32, idade 5 *anos* e posição de amostragem

Base: **VD** (7,83) > **VJ** (6,77) > **VJ** (5,27);

Meio: **VD** (7,38) = **VJ** (7,12) = **IJ** (6,10);

Ponta: **VD** (6,23) = **VJ** (5,50) > **IJ** (4,98).

Cimento CP II-E-32, idade 7 *anos* e posição de amostragem

Base: **VD** (7,90) > **IJ** (6,48) > **VJ** (2,02);

Meio: **VD** (5,77) = **IJ** (5,38) = **VJ** (1,80);

Ponta: **VD** (6,73) > **IJ** (2,75) > **VJ** (1,30).

Cimento CP V-ARI, idade 3 *anos* e posição de amostragem

Base: **IJ** (10,42) > **VD** (8,67) = **VJ** (7,95);

Meio: **IJ** (9,30) = **VD** (8,37) = **VJ** (3,12);

Ponta: **IJ** (10,55) > **VD** (8,07) > **VJ** (1,60).

Cimento CP V-ARI, idade 5 *anos* e posição de amostragem

Base: **IJ** (12,77) = **VD** (12,03) > **VJ** (9,75);

Meio: **IJ** (12,28) > **VJ** (11,12) > **VD** (9,22);

Ponta: **IJ** (12,28) > **VJ** (10,65) = **VD** (10,62).

Cimento CP V-ARI, idade 7 anos e posição de amostragem

Base: **IJ** (11,20) > **VD** (10,23) > **VJ** (6,08);

Meio: **IJ** (11,18) > **VD** (9,63) > **VJ** (3,17);

Ponta: **VD** (11,52) > **IJ** (7,42) > **VJ** (1,40).

a.3.2 Cimento x idade x tratamento de lavagem das partículas vegetais

Hipótese: material coletado em épocas diferentes e proveniente de toras com a mesma idade pode ser misturado? A lavagem desse tipo de partículas trará algum benefício?

Cimento CP-II-E-32, idade 3 anos e lavagem das partículas vegetais

Natural: **VD** (5,04) > **IJ** (2,31) = **VJ** (2,08);

Lavado: **IJ** (3,38) = **VD** (3,02) > **VJ** (1,48).

Cimento CP-II-E-32, idade 5 anos e lavagem das partículas vegetais

Natural: **VD** (6,88) = **VJ** (6,46) > **IJ** (5,14);

Lavado: **VD** (7,41) > **VJ** (6,47) = **IJ** (5,76).

Cimento CP-II-E-32, idade 7 anos e lavagem das partículas vegetais

Natural: **VD** (7,72) > **IJ** (5,51) > **VJ** (1,60);

Lavado: **VD** (5,88) > **IJ** (4,23) > **IJ** (1,81).

Cimento CP-V-ARI, idade 3 anos e lavagem das partículas vegetais

Natural: **IJ** (9,88) > **VD** (7,81) > **VJ** (3,79);

Lavado: **IJ** (10,30) > **VD** (8,92) > **VJ** (4,66).

Cimento CP-V-ARI, idade 5 *anos* e lavagem das partículas vegetais

Natural: **IJ** (13,67) > **VJ** (11,36) > **VD** (8,01);

Lavado: **VD** (11,71) = **IJ** (11,22) = **VJ** (11,18).

Cimento CP-V-ARI, idade 7 *anos* e lavagem das partículas vegetais

Natural: **IJ** (10,46) = **VD** (10,10) > **VJ** (2,96);

Lavado: **VD** (10,82) > **IJ** (9,41) > **VJ** (4,14).

a.3.3 Cimento x posição x tratamento de lavagem das partículas vegetais

Hipótese: material coletado de uma mesma região de toras, em épocas diferentes, e com diferentes idades, pode ser misturado? A lavagem desse tipo de partículas trará algum benefício?

Cimento CP-II-E-32, posição *Base* e lavagem das partículas vegetais

Natural: **VD** (7,24) > **IJ** (4,91) > **VJ** (3,57);

Lavado: **VD** (6,53) > **IJ** (5,62) > **VJ** (3,69).

Cimento CP-II-E-32, posição *Meio* e lavagem das partículas vegetais

Natural: **VD** (6,44) > **IJ** (4,69) > **VJ** (3,86);

Lavado: **VD** (4,88) > **IJ** (4,13) > **VJ** (3,29).

Cimento CP-II-E-32, posição *Ponta* e lavagem das partículas vegetais

Natural: **VD** (5,96) > **IJ** (3,37) = **VJ** (2,71);

Lavado: **VD** (4,90) > **IJ** (3,61) > **VJ** (2,78).

Cimento CP-V-ARI, posição *Base* e lavagem das partículas vegetais

Natural: **IJ** (11,27) > **VD** (8,80) = **VJ** (8,41);

Lavado: **IJ** (11,66) > **VD** (10,30) > **VJ** (8,97).

Cimento CP-V-ARI, posição *Meio* e lavagem das partículas vegetais

Natural: **IJ** (11,42) > **VD** (8,57) > **VJ** (5,24);

Lavado: **IJ** (10,42) > **VD** (9,58) > **VJ** (6,35).

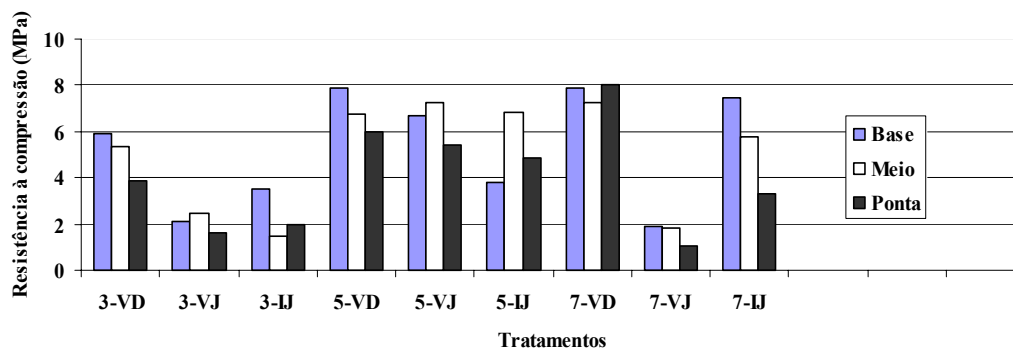
Cimento CP-V-ARI, posição *Ponta* e lavagem das partículas vegetais

Natural: **IJ** (11,31) > **VD** (8,56) > **VJ** (4,44);

Lavado: **VD** (11,58) > **IJ** (8,85) > **VJ** (4,65).

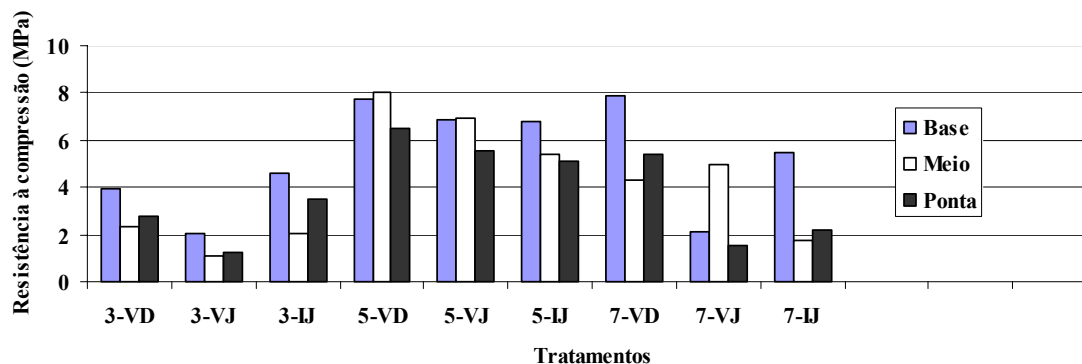
Análise dos resultados considerando as diversas interações entre os fatores analisados:

- Cimento CP II e material Natural: o corte efetuado no Verão Dezembro (1998) e uso imediato do material no mesmo mês (**VD**) mostrou-se mais adequado para todas as idades da tora e para todas as posições de amostragem; árvores de 5 anos se mostraram menos sensíveis à influência da época de corte (Figura 20).



- Figura 20- Efeito da época de corte e uso- **CP II-E-32** e material **Natural**

- Cimento CPII e material Lavado: o corte/uso **VD**, também foi o melhor. Recomenda-se evitar o corte **VJ** para árvores de 3 anos (figura 21).



- Figura 21- Efeito da época de corte e uso- **CP II-E-32** e material **Lavado**
- Cimento CPV e material Natural: **IJ**, seguido de **VD**, foram as melhores opções, recomendando-se descartar o corte/uso **VJ** para árvores de 3 e 7 anos (figura 22).

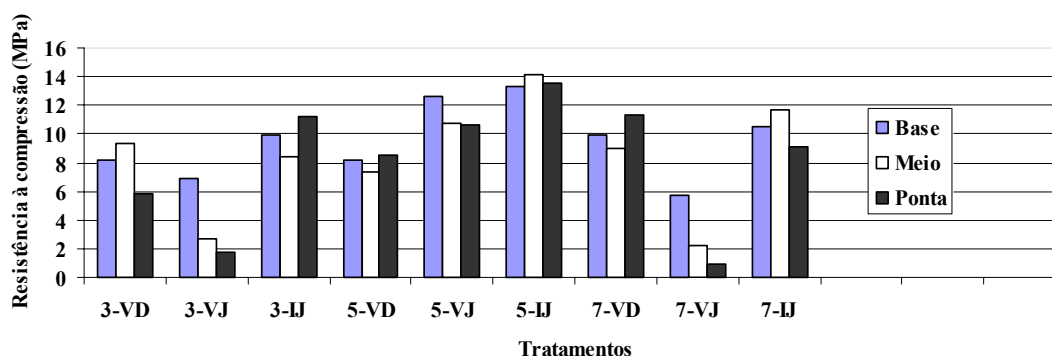


Figura 22- Efeito da época de corte e uso- **CP V-ARI** e material **Natural**

- Cimento CPV e material Lavado: observou-se um comportamento idêntico àquele obtido no caso precedente. Partículas obtidas de árvores de 5 anos também se mostraram menor variação quanto à época de corte/uso (figura 23).

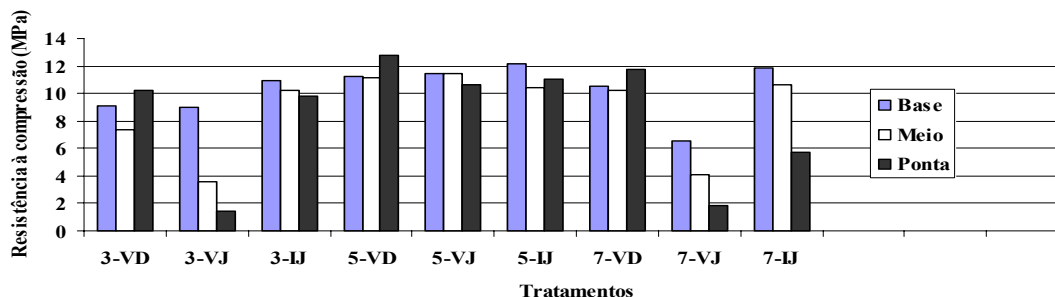


Figura 23- Efeito da época de corte e uso- **CP V-ARI** e material **Lavado**

b- Tipos de cimento.

A análise global dos resultados do ensaio de compressão simples indicou, através do teste de Tukey (5%), a melhor adequação do uso do cimento CP V-ARI (8,91 MPa) quando comparado com o CP-II-E-32 (4,57 MPa), fato esse observado por outros autores (BERALDO, 1997). A seguir, são apresentados os resultados obtidos quando foram analisadas as diversas interações:

Para o corte **IJ**, com material **Natural** (figuras 24, 26 e 28) ou **Lavado** (figuras 25, 27 e 29), houve acentuada predominância do CP V-ARI. Para os demais cortes houve a mesma tendência exceto **VD** (N-M-5A), **VJ** (N-M-3A, N-P-3A, N-M-7A, N-P-7A, L-P-3A, L-P-7A), onde não houve diferença significativa entre os dois tipos de cimento.

Os valores médios de resistência à compressão (em MPa) para os cimentos CP V-ARI e CP II-E-32, considerando-se a época de corte/uso foram de, respectivamente, 9,56 e 5,99 (**VD**); 6,35 e 3,31 (**VJ**); 10,82 e 4,39 (**IJ**).

Ao analisar-se o efeito do fator idade de abate das toras obteve-se, igualmente, diferenças significativas entre os dois tipos de cimento: 7,55 e 2,89 (**3 anos**); 11,19 e 6,35 (**5 anos**) e 7,98 e 4,46 (**7 anos**).

O mesmo fato observou-se quando da análise do efeito do fator posição de amostragem: 9,90 e 5,25 (**Base**); 8,60 e 4,55 (**Meio**) e 8,23 e 3,89 (**Ponta**).

A operação de lavagem das partículas vegetais mostrou pequena vantagem quando foi utilizado o CP-V-ARI (de 8,67 para 9,15 MPa). Para o CP-II-E-32 a operação não se mostrou satisfatória (de 4,75 para 4,38 MPa).

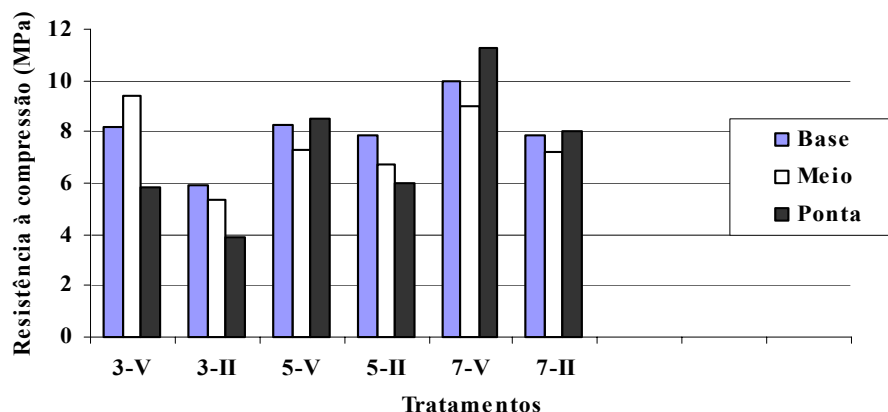


Figura 24- Efeito do tipo de cimento- Corte/uso **VD**, material **Natural**

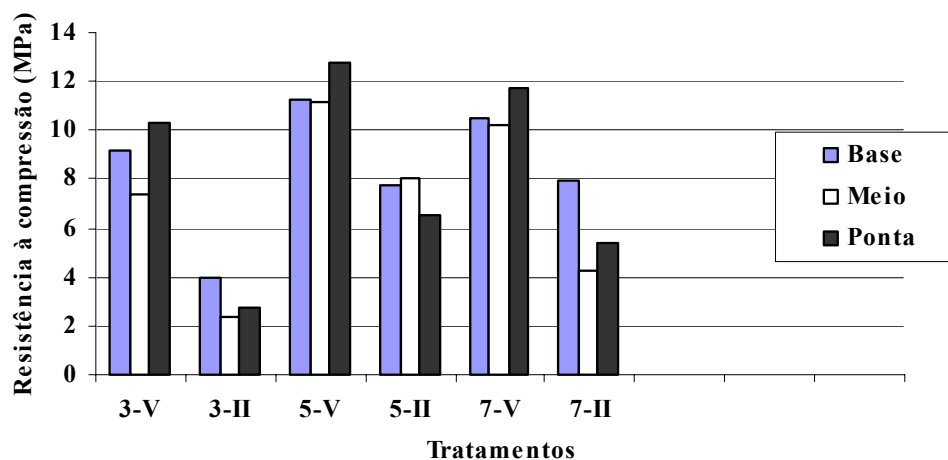


Figura 25- Efeito do tipo de cimento- Corte/uso **VD**, material **Lavado**

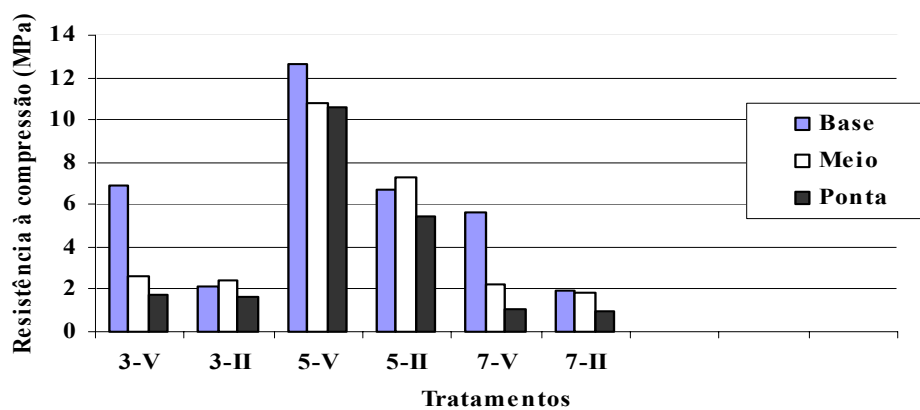


Figura 26- Efeito do tipo de cimento- Corte/uso **VJ**, material **Natural**

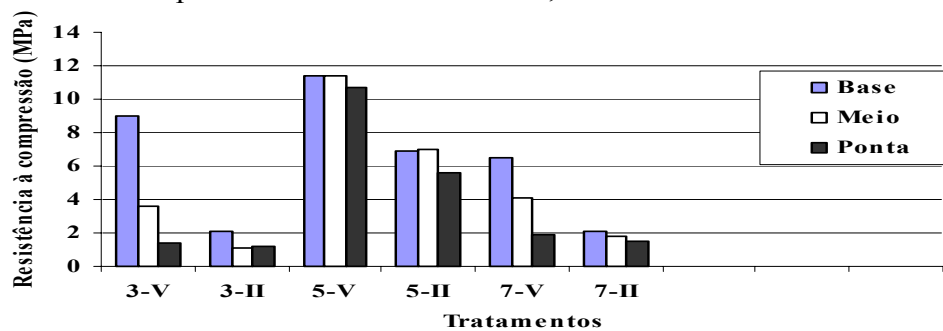


Figura 27- Efeito do tipo de cimento- Corte/uso **VJ**, material **Lavado**

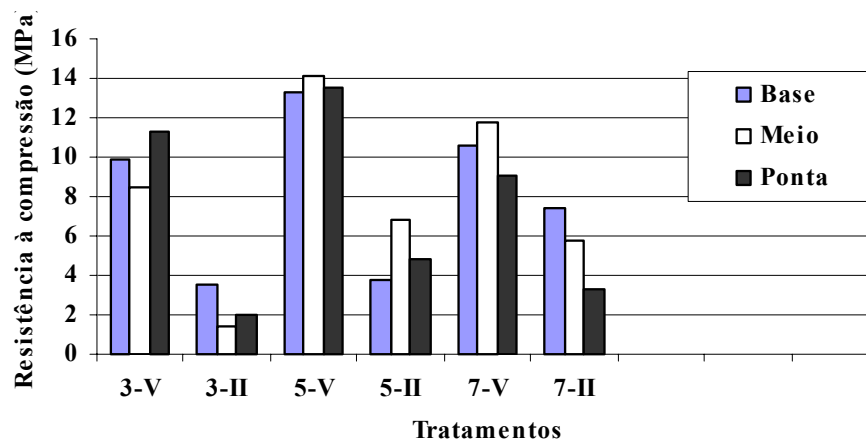


Figura 28- Efeito do tipo de cimento- Corte/uso **IJ**, material **Natural**

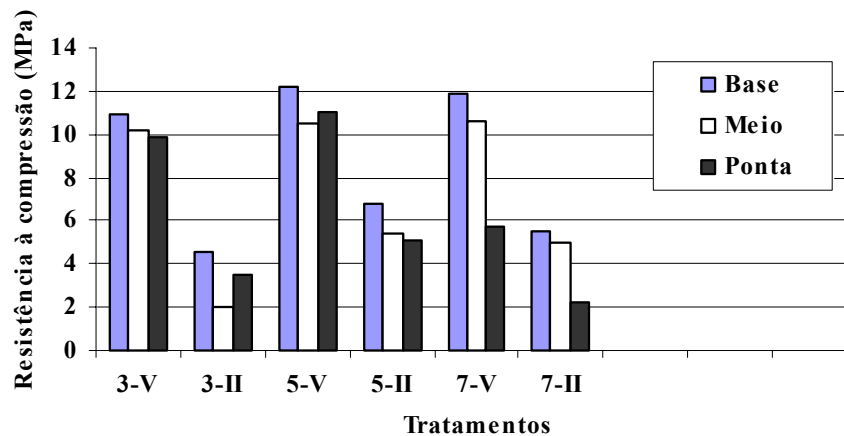


Figura 29- Efeito do tipo de cimento- Corte/uso **IJ**, material **Lavado**

c- Posição de Amostragem.

A análise global dos resultados do ensaio de compressão indicou haver diferença estatística entre as médias, ao nível de 5% (teste de Tukey), para as posições **B** (base), **M** (meio) e **P** (ponta), para as quais obteve-se, respectivamente, 7,58; 6,57 e 6,06 MPa.

Essa tendência se manteve quando se incluiu o efeito da época de corte/uso. Com efeito, obteve-se, para as posições **B**, **M** e **P**, respectivamente: 8,22; 7,75 e 7,37 (**VD**); 6,16; 4,69 e 3,65 (**VJ**); 8,36; 7,67 e 6,79 (**IJ**).

A análise do efeito do fator cimento indicou a mesma tendência anterior. Para o CP – II-E-32 verificou-se: $B (5,26) > M (4,55) > P (3,89)$; para o CP-V-ARI verificou-se: $B (9,90) > M (8,60) > P (8,23)$.

Essa tendência observada anteriormente sofreu algumas modificações (corte VD e uso do cimento CP V-ARI) quando se analisou o efeito simultâneo de dois ou mais fatores:

Época de corte x cimento CP II-E-32

VD: $B (6,89) > M (5,66) = P (5,43)$;

VJ: $B (3,63) = M (3,57) > P (2,74)$;

IJ: $B (5,27) > M (4,41) > P (3,49)$.

Época de corte x cimento CP V-ARI

VD: $P (10,07) \geq B (9,55) \geq M (9,07)$;

VJ: $B (8,69) > M (5,80) > P (4,55)$;

IJ: $B (11,46) > M (10,92) > P (10,08)$.

Embora não tenham sido efetuadas análises químicas das partículas vegetais, de acordo com a posição de amostragem das toras, observou-se, na maior parte dos casos analisados, a provável influência desse parâmetro (figuras 30 a 35). No entanto, os resultados obtidos devem ser analisados com precaução, pois ocorreu interferência dos demais fatores envolvidos. De maneira geral, pôde-se observar que:

- **VD-N:** Para ambos os tipos de cimento deve-se eliminar P-3. Em árvores mais jovens (3 anos) 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 originado da ponta mostrou-se melhor;

- **VJ-N:** Para ambos os tipos de cimento, árvores de 5 anos foram as mais indicadas; a posição não pareceu interferir nos resultados; para o tipo V, apenas as bases 3A e 7A são as indicadas;
- **VJ-L:** Idêntico ao caso anterior;
- **IJ-N:** Árvores de 5 anos forneceram resultados mais homogêneos. Para o cimento tipo V não se observou diferença significativa entre 3A e 7A, para todas as posições;
- **IJ-L:** Para o cimento tipo II, deve-se descartar o material B-3A; para ambos tipos de cimento deve-se descartar o material P-7A.

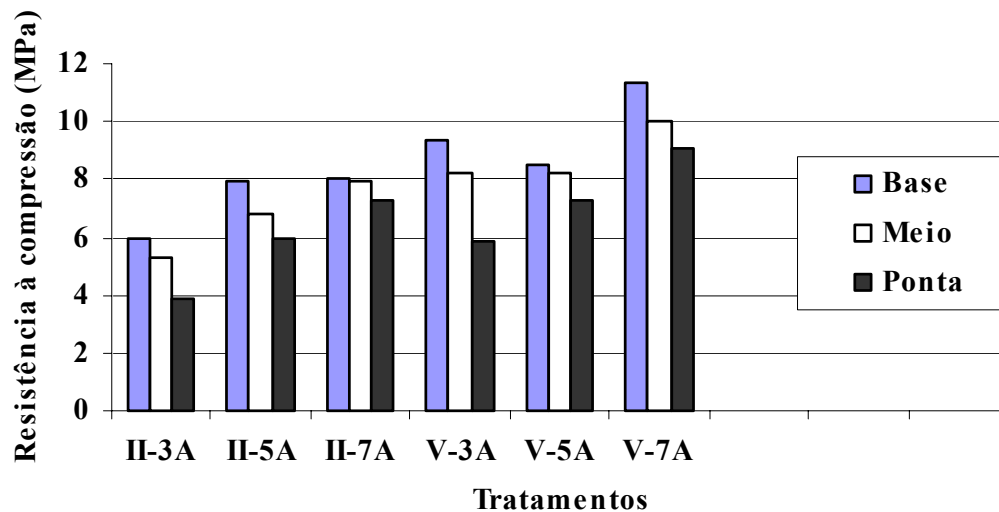


Figura 30- Efeito da posição de amostragem- Corte/uso VD, material **Natural**

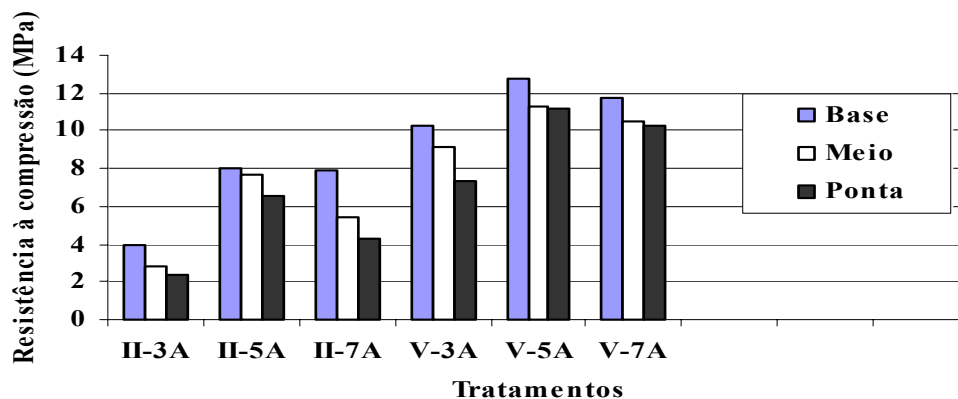


Figura 31- Efeito da posição de amostragem- Corte/uso VD, material **Lavado**

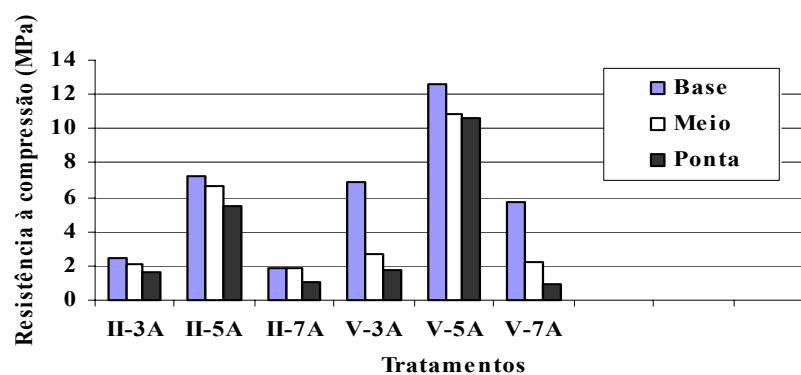


Figura 32- Efeito da posição de amostragem- Corte/uso VJ, material **Natural**

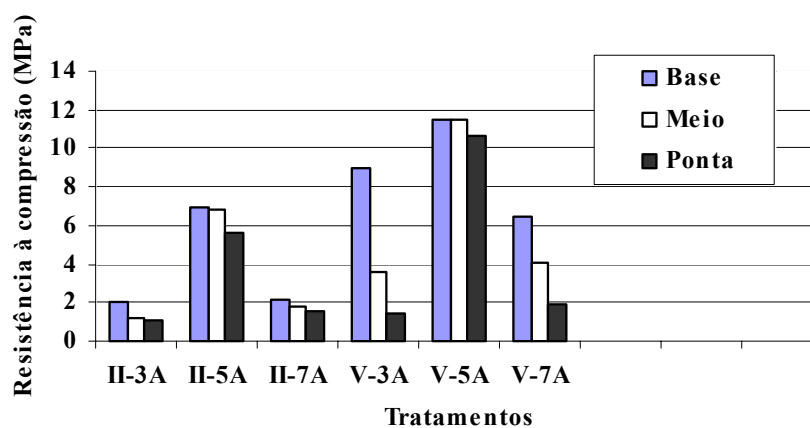


Figura 33- Efeito da posição de amostragem- Corte/uso VJ, material **Lavado**

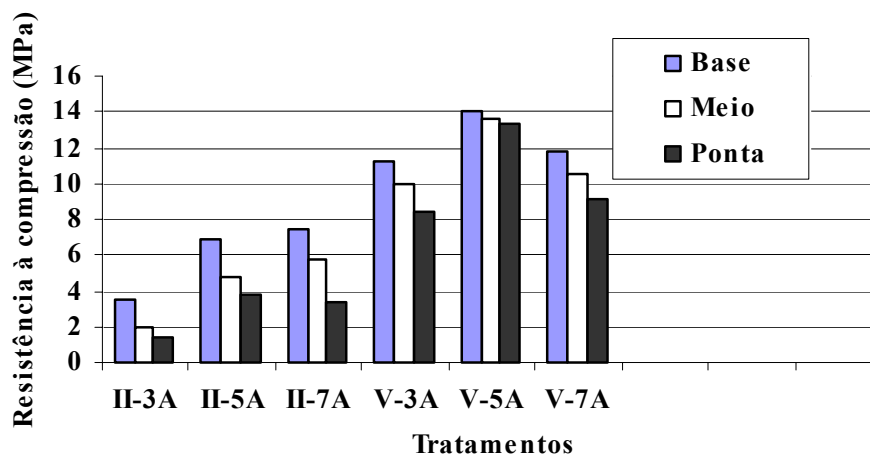


Figura 34- Efeito da posição de amostragem- Corte/uso IJ, material **Natural**

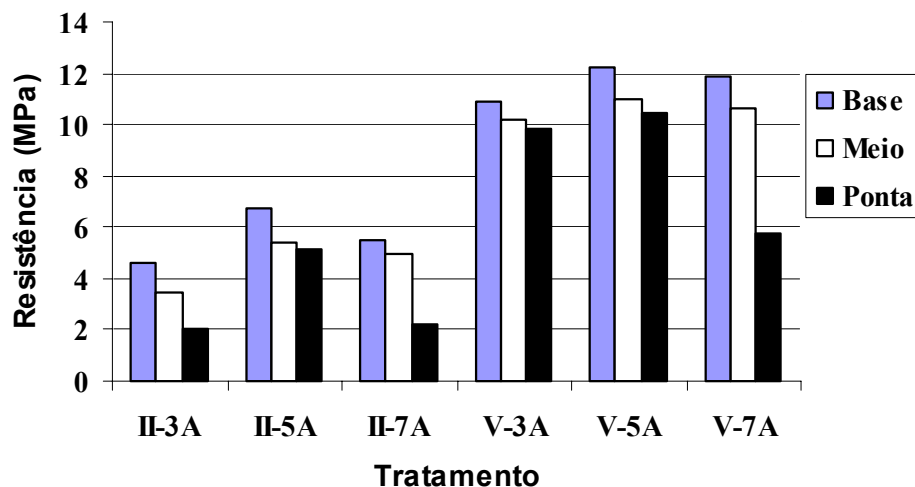


Figura 35- Efeito da posição de amostragem- Corte/uso **IJ**, material **Lavado**

d- Idade das Árvores

Árvores mais velhas caracterizam-se por apresentar lenho com maior porcentagem de cerne em relação à área total da seção do tronco. Por outro lado, sabe-se que no cerne ocorre maior deposição de óleos-resinas, enquanto que, na região do alburno ocorre presença da seiva bruta, depositada nos vasos. Tais particularidades anatômicas e químicas da fitomassa podem influenciar de forma significativa o desempenho do compósito madeira-cimento.

A análise global dos resultados do ensaio de compressão permitiu evidenciar as diversas interações entre os fatores analisados (figuras 36 a 41). Mas, de uma forma geral, verificou-se que houve diferença significativa entre os valores de resistência à compressão, quando foram considerados materiais com idades **5A** (5 anos), **7A** (7 anos) e **3A** (3 anos), apresentando valores médios de 8,77; 6,22 e 5,22 MPa, respectivamente.

Idade da tora x cimento

CP-II-E-32: **5A** (6,35) > **7A** (4,46) > **3A** (2,89);

CP-V-ARI: **5A** (11,19) > **7A** (7,98) > **3A** (7,56).

Idade da tora x época de corte x cimento

CP-II-E-32

VD: **5A** (7,14) = **7A** (6,80) > **3A** (4,03);

VJ: **5A** (6,46) > **3A** (1,78) = **7A** (1,71);

IJ: **5A** (5,45) > **7A** (4,87) > **3A** (2,84).

CP-V-ARI

VD: **5A** (10,46) > **7A** (9,86) > **3A** (8,37);

VJ: **5A** (11,27) > **3A** (4,22) > **7A** (3,55);

IJ: **5A** (12,44) > **3A** (10,09) = **7A** (9,93).

A exemplo do que foi observado em comentários anteriores, procurou-se refinar os resultados apresentando as interações existentes entre os diversos fatores:

- **VD-N**: Quanto mais velha a árvore, melhor foi o resultado; houve tendência de que as pontas se destacassem;
- **VD-L**: Idêntico 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**: Idêntico ao caso anterior, exceto para a região da base, quando foi utilizado o cimento tipo V;
- **IJ-N**: Árvores de 3 anos foram as mais indicadas, para ambos os tipos de cimento, exceto B-3A, o qual não foi diferente de B-5A;
- **IJ-L**: O material originário da base se mostrou mais homogêneo. Para o cimento tipo V poderia ser utilizado o material global da tora.

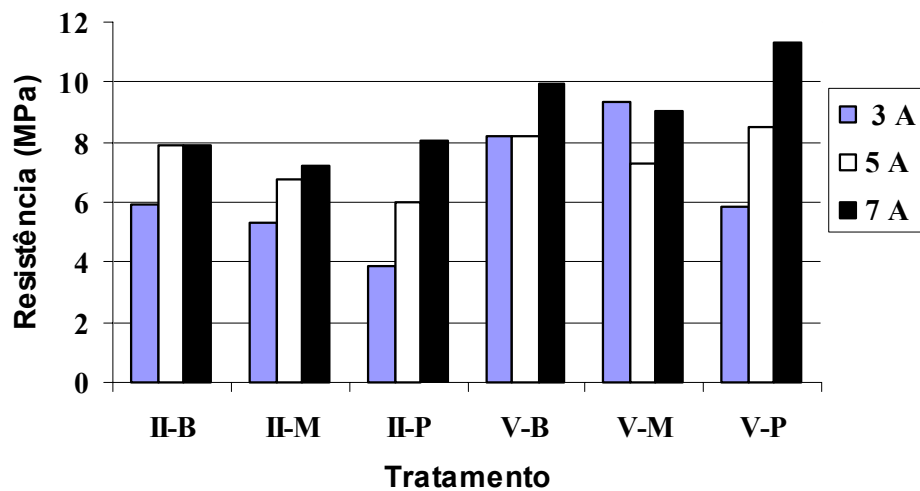


Figura 36- Efeito da idade- Corte/uso **VD**, material **Natural**

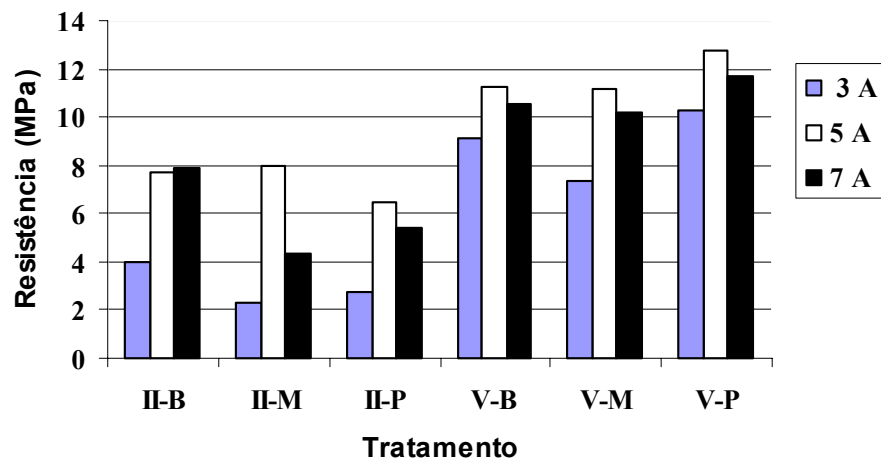


Figura 37- Efeito da idade- Corte/uso **VD**, material **Lavado**

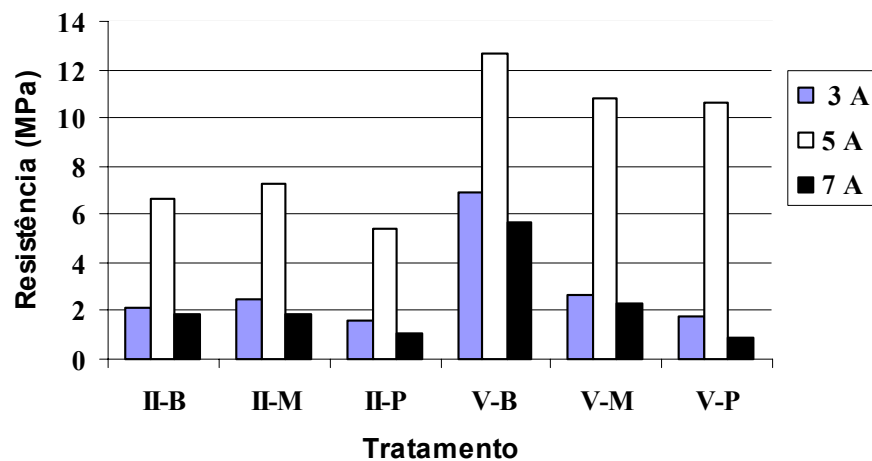


Figura 38- Efeito da idade- Corte/uso **VJ**, material **Natural**

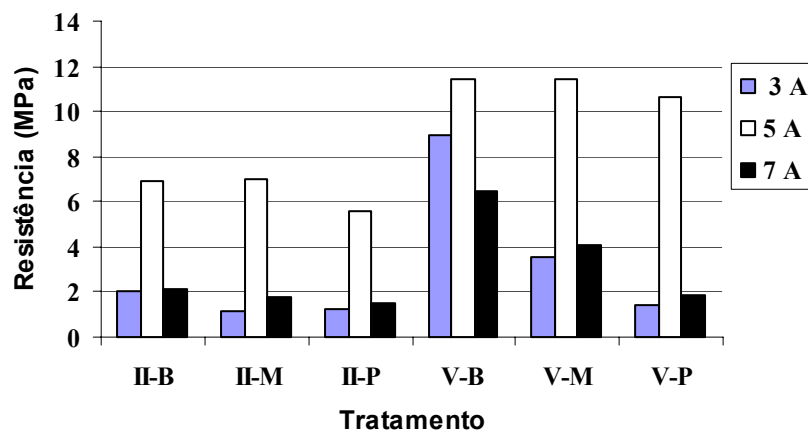


Figura 39- Efeito da idade- Corte/uso VJ, material **Lavado**

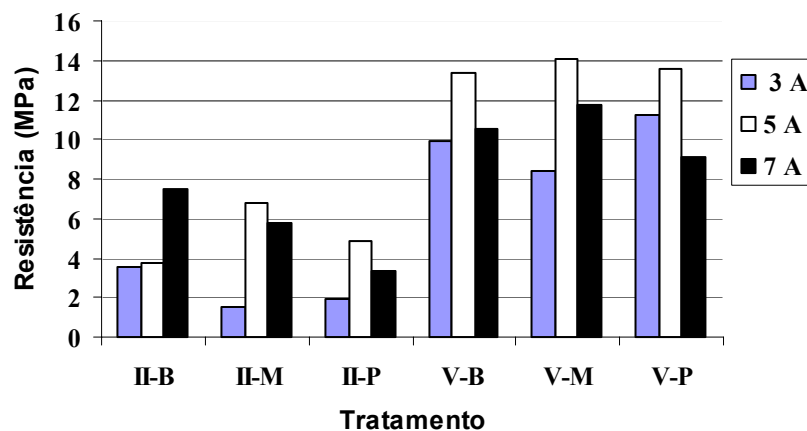


Figura 40- Efeito da idade- Corte/uso IJ, material **Natural**

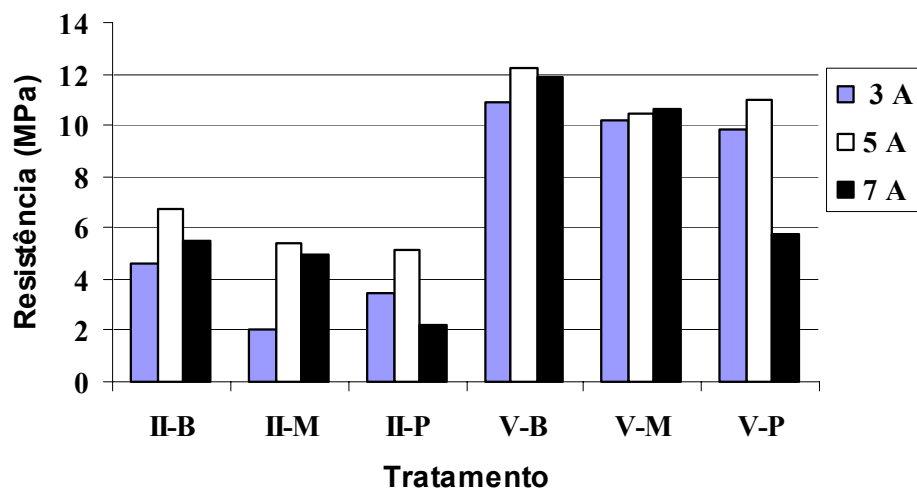


Figura 41- Efeito da idade- Corte/uso IJ, material **Lavado**

e- Lavagem das partículas vegetais.

Embora a literatura especializada recomende fortemente essa operação para melhorar o desempenho dos compósitos à base de fitomassa inibitória à pega do cimento, verificou-se que o resultado final dependeu fortemente das demais variáveis envolvidas no experimento (figuras 42 a 47). A única situação em que a lavagem mereceu ser efetuada foi quando da utilização de material originário do corte/uso **VD**, quando combinado com o cimento tipo **V** (exceto M-3A). Nas demais situações praticamente não houve a necessidade de realizar essa operação (exceto VD-II-M-5A, VJ-V-B-3A, VJ-V-M-7A, IJ-II-B-5A, IJ-II-P3A, IJ-V-B-7A, IJ-V-M-3A).

Os valores globais de resistência à compressão para os tratamentos **Natural** e **Lavado** foram de, respectivamente, 6,76 e 6,71 MPa, os quais não diferiram entre si. Quando do uso do cimento CP II-E-32 observou-se um efeito negativo da lavagem, pois a resistência média reduziu-se de 4,75 para 4,38 MPa, quando foi realizada a lavagem das partículas. Uma possível explicação pode estar relacionada à perda de finos durante o peneiramento pós-lavagem, o que acabaria modificando ligeiramente a eficiência da compactação da mistura.

Para o cimento CP V-ARI observou-se um pequeno aumento da resistência em compressão, passando o resultado de 8,67 para 9,15 MPa.

Efeito da lavagem x época de corte/uso x tipo de cimento

CP-II-E-32

VD: N (6,55) > L (5,44) VJ: N (3,38) = L (3,25) IJ: L (4,46) = N (4,32)

CP-V-ARI

VD: L (10,49) > N (8,64) VJ: L (6,66) > N (6,03) IJ: N (11,33) > L (10,31)

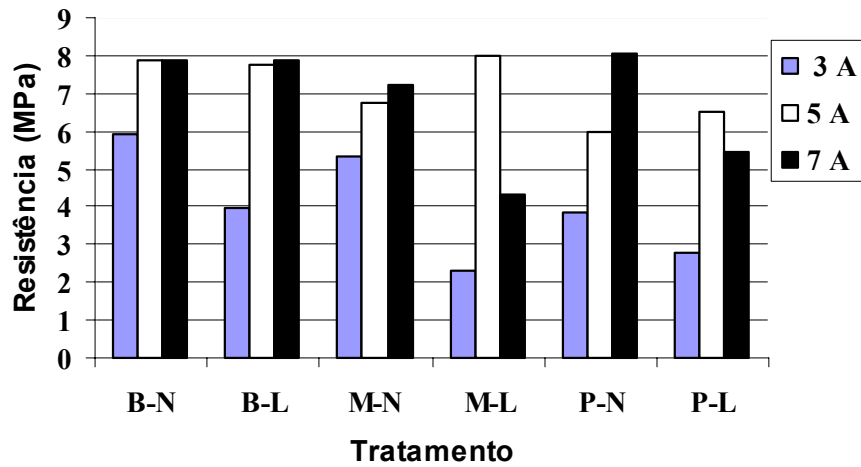


Figura 42- Efeito da lavagem das partículas- Corte/uso **VD**, cimento **CP II-E-32**

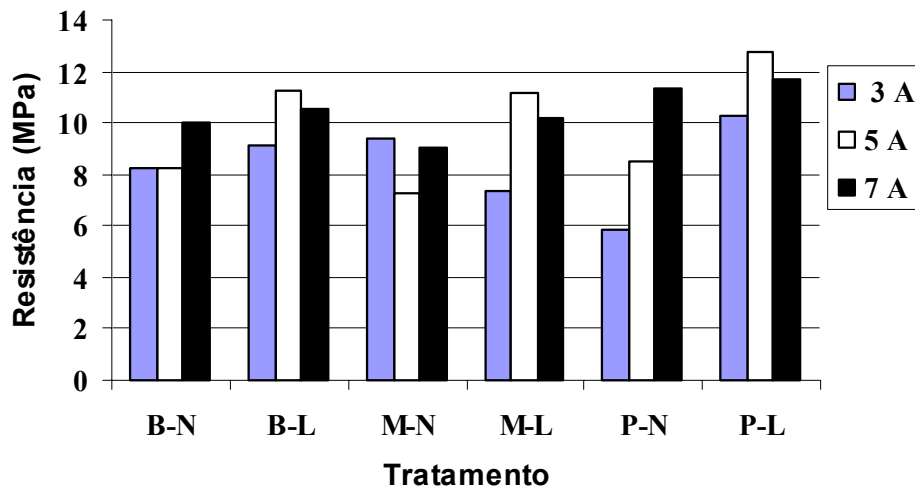


Figura 43- Efeito da lavagem das partículas- Corte/uso **VD**, cimento **CP V-ARI**

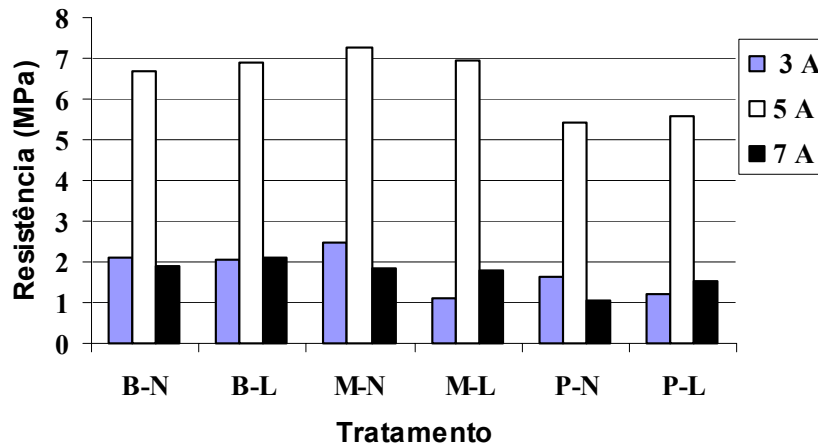


Figura 44- Efeito da lavagem das partículas- Corte/uso **VJ**, cimento **CP II-E-32**

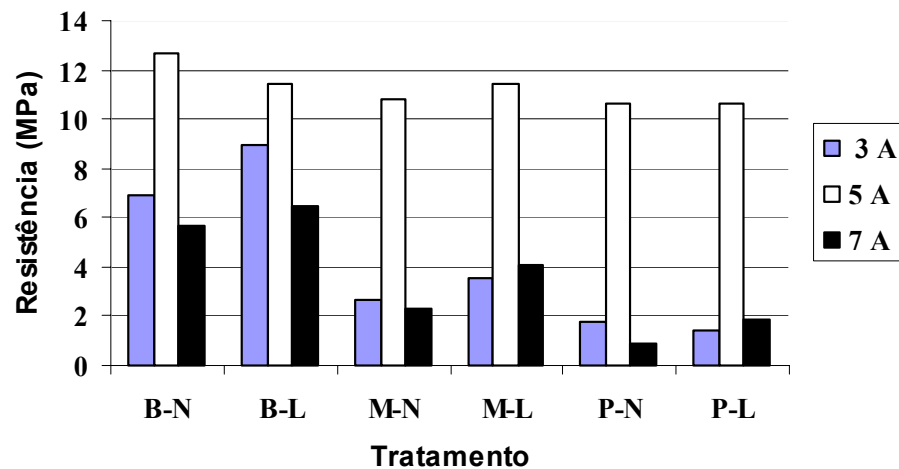


Figura 45- Efeito da lavagem das partículas- Corte/uso **VJ**, cimento **CP V-ARI**

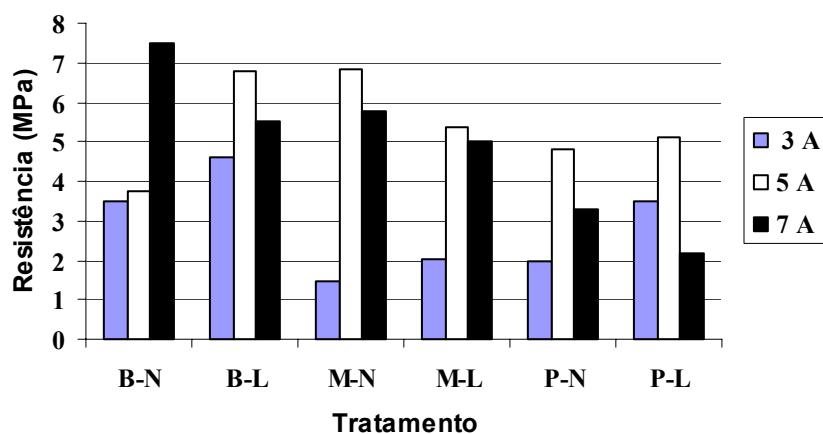


Figura 46- Efeito da lavagem das partículas- Corte/uso **IJ**, cimento **CP II-E-32**

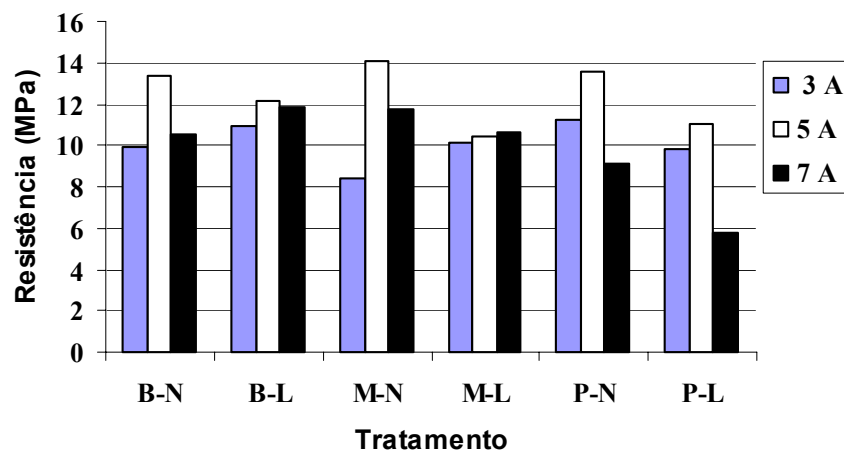


Figura 47- Efeito da lavagem das partículas- Corte/uso **IJ**, cimento **CP V-ARI**

Análise estatística dos resultados do ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos através do programa MATLAB

Além da análise dos resultados do ensaio de compressão simples, obtida através do software SANEST, procurou-se outra alternativa, ou seja, o uso do software MATLAB. A análise foi efetuada por Carlos E. H. Pimentel, acadêmico do IMECC-UNICAMP. No quadro 9 apresentam-se os fatores e níveis utilizados para a análise de regressão múltipla das 324 observações experimentais.

Quadro 9- Delineamento experimental

Fatores	Código	Níveis do fator	Valor indicativo do nível
Época de Corte/Uso	A	VD- Corte e Uso no verão	-1
		VJ- Corte no verão e Uso no inverno	0
		IJ- Corte e Uso no inverno	1
Tipo de cimento	B	CP II-E-32	0
		CP V-ARI	1
Idade da árvore	C	3 anos	-1
		5 anos	0
		7 anos	1
Posição de amostragem	D	Base	-1
		Meio	0
		Ponta	1
Tratamento físico	E	Lavada	0
		Natural	1

O objetivo da análise era o de verificar quais seriam os fatores que, quando combinados, propiciassem a obtenção de compósito com maior resistência à compressão simples. Os dados foram estruturados em um delineamento fatorial, no qual cada fator de interesse era uma variável categórica. As categorias de cada variável foram especificadas por meio de variáveis indicadoras (cada categoria ou nível é representado com um valor,(apresentado na última coluna do quadro 9).

Devido à natureza dos dados e ao objetivo a ser alcançado foi utilizada a análise de regressão múltipla, de tal forma que, no modelo obtido, as variáveis regressoras fossem os fatores, obtendo-se, como variável resposta, a resistência à compressão simples.

Na figura 48 apresenta-se a média dos 108 ensaios realizados (com três repetições para cada um). O terço inicial indica os corpos-de-prova originários do tratamento **VD**; o terço médio aqueles do tratamento **VJ**; no terço final aqueles do tratamento **IJ**. Verifica-se uma grande dispersão nos resultados obtidos, notando-se, claramente, a menor adequação para a fabricação de compósitos cujas partículas vegetais constituintes eram originárias do Corte e Uso VJ (terço médio).

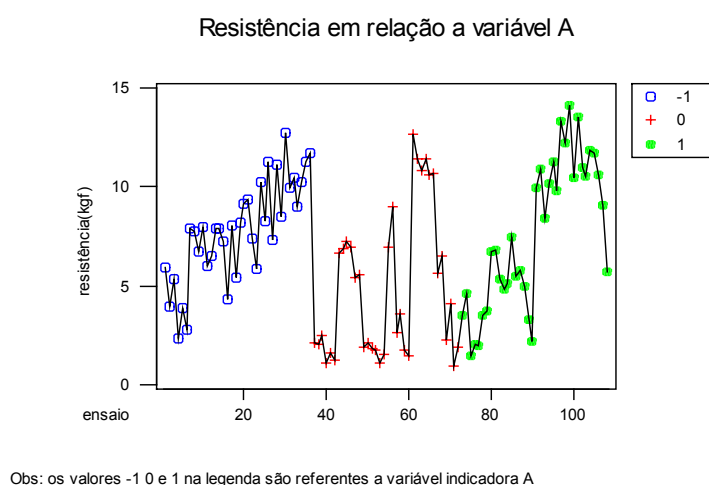


Figura 48- Resultado dos ensaios médios de acordo com a época de Corte e Uso.

Legenda: Cortes/Usos VD (-1); VJ (0) e IJ (1).

Na Figura 49 apresentam-se os resultados obtidos analisando-se o efeito do tipo de cimento empregado. O uso do cimento CP V-ARI permitiu, na maioria dos resultados, a obtenção de compósitos de maior resistência à compressão, do que aqueles fabricados à base de cimento CP II-E-32. Cabe esclarecer, no entanto, que vários corpos-de-prova à base de CP II-E-32 apresentaram tensões de ruptura elevadas, o que os também qualificaria para fins de fabricação.

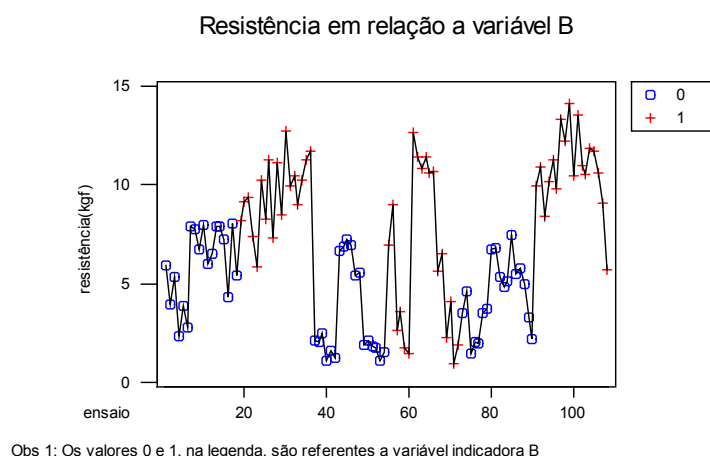


Figura 49- Resultados do ensaio de acordo com o tipo de cimento utilizado.

Legenda: CP II-E-32 (0) e CP V-ARI (1)

As figuras 50 e 51, 52 e 53 e 54 e 55 representam, respectivamente, a análise de resíduos para os cortes e usos **VD**, **IJ** e **VJ**. Verificou-se que, com exceção dessas duas últimas figuras (relativas ao corte e uso **VJ**), ocorreu uma distribuição normal. A resistência à compressão, igualmente, situou-se dentro de uma faixa de tolerância, para os cortes e usos **VD** e **IJ**; para o corte e uso **VJ** tal fato não ocorreu, denotando, mais uma vez, a inadequação do uso desse material para a fabricação de compósito à base de cimento.

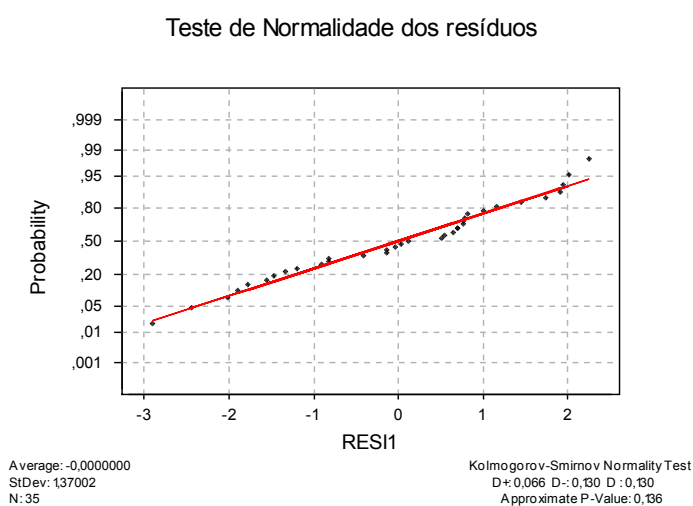


Figura 50- Teste de normalidade de resíduos. Corte e Uso **VD**

Gráficos de análise de resíduos

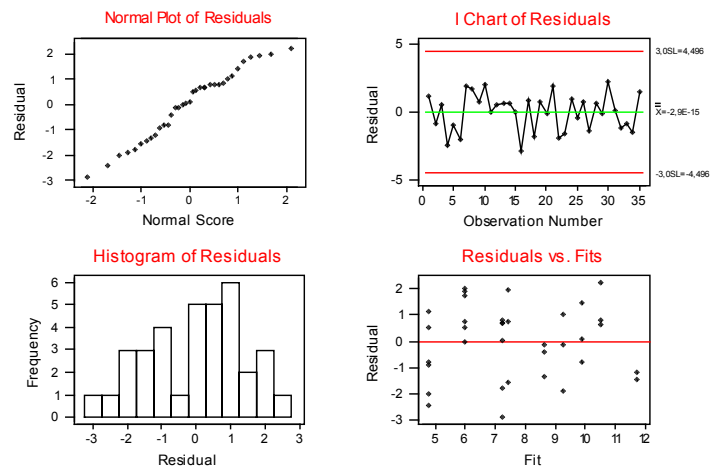


Figura 51- Análise de resíduos. Corte e Uso **VD**.

Teste de normalidade dos resíduos

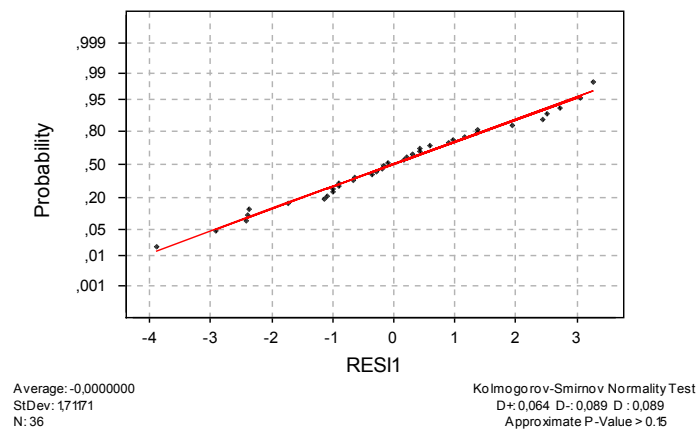


Figura 52- Teste de normalidade de resíduos. Corte e Uso **IJ**

Análise de resíduos

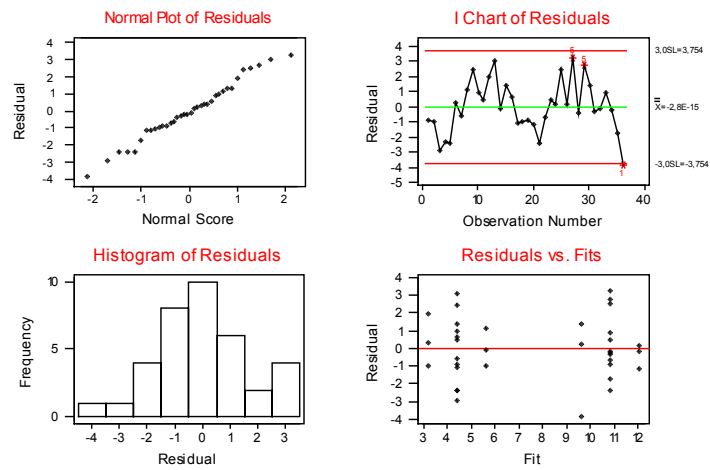


Figura 53- Análise de resíduos. Corte e Uso **IJ**.

Teste de normalidade dos resíduos

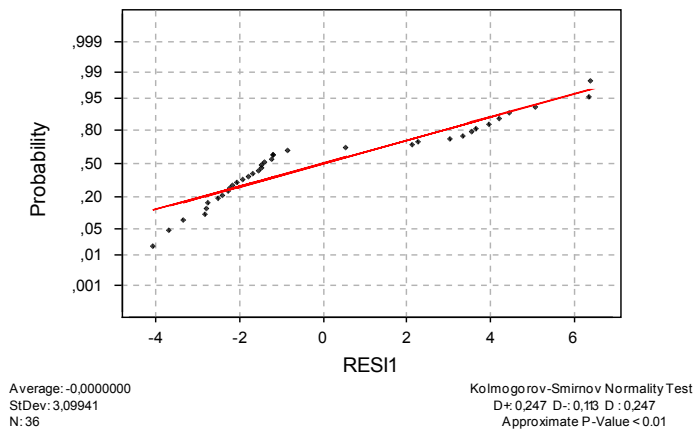


Figura 54- Teste de normalidade de resíduos. Corte e Uso **VJ**

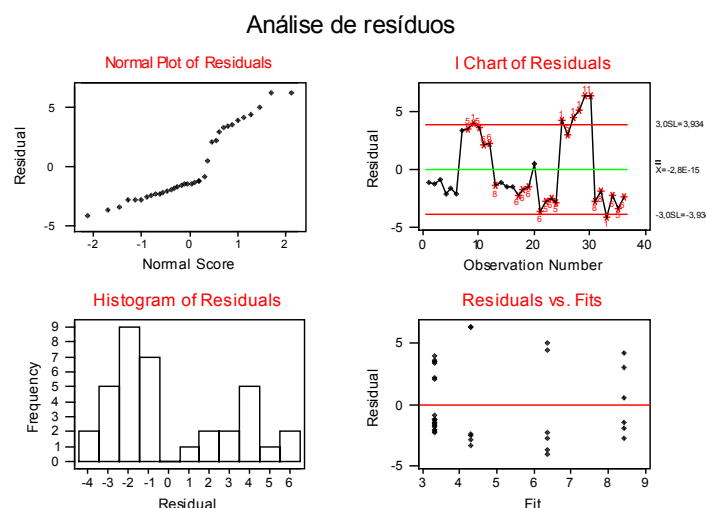


Figura 55- Análise de resíduos. Corte e Uso **VJ**.

Modelos matemáticos propostos para avaliar a resistência à compressão

A análise de regressão múltipla permitiu indicar, para os tipos de corte e uso **VD** e **IJ**, modelos matemáticos estimatórios da resistência à compressão simples dos compósitos. Para o corte e uso **VJ**, conforme enfatizado anteriormente, não houve a possibilidade de efetuar esse tipo de ajuste, sendo o coeficiente de correlação de 28,5%.

a) Corte e Uso VD

$$\sigma = 5,99 + 2,65B + 1,21C + 1,84BE$$

No modelo matemático, **B** representa o tipo de cimento adotado (valor **0** para o CII E-32 e valor **1** para o CP V-ARI, conforme apresentado no quadro 9); **C** representa a idade da árvore (**-1**, **0** e **1**, para, respectivamente, 3 anos, 5 anos e 7 anos); **BE** representa a interação entre o tipo de cimento (**B**) e o tipo de tratamento físico efetuado nas partículas vegetais (**0** e **1**, para, respectivamente, Lavado e Natural). De acordo com o modelo, a resistência máxima à compressão simples seria obtida combinando-se os seguintes níveis:

Cimento CP V-ARI + árvore de 7 anos (independentemente da posição de amostragem) + material Natural (interação como CP V-ARI).

b) Corte e Uso IJ

$$\sigma = 4,39 + 6,43B - 1,20DE$$

No modelo matemático **B** representa o tipo de cimento adotado (valor **0** para o CP E-32 e valor **1** para o CP V-ARI); **D** representa a posição de amostragem (-1, 0 e 1, para, respectivamente, base, meio e ponta); **E** representa o tipo de tratamento físico efetuado nas partículas vegetais (**0** e **1**, para, respectivamente, Natural e Lavada). De acordo com o modelo adotado a máxima resistência à compressão simples seria obtida combinando-se os seguintes níveis:

Cimento CP V-ARI + interação entre a base do tronco (D=-1) e madeira Natural (E=1).

Geralmente a ponta é a região menos nobre da árvore para fins de obtenção de celulose. Destina-se, via de regra, à geração de energia nas caldeiras. No modelo precedente vislumbrou-se uma forma de valorização desse material energético, para a fabricação de compósitos, adotando-se a seguinte combinação:

Cimento CP V-ARI + interação entre ponta (D=1) e material Lavado (E=0).

Escolha dos tratamentos para a confecção das placas prensadas

Baseado na análise estatística efetuada sobre os resultados do ensaio de compressão, e levando-se em conta as dificuldades a serem encontradas se fossem fabricadas placas prensadas a partir de todas composições possíveis, foram escolhidos apenas alguns tratamentos que se destacaram dentre os demais.

Considerou-se que deveria ser descartado o uso de material originário da época de corte e uso **VJ** (ou seja, aquele que tinha sido cortado e deixado no campo durante 6 meses), árvores de **3 anos** e material proveniente da **ponta** da tora, embora em determinadas circunstâncias tenha sido obtido um resultado adequado (por exemplo, **P5 IJ**), conforme apresentado no ensaio de ultra-som (figuras 18 e 19). Desse modo, foram escolhidos os tratamentos que haviam se mostrado mais adequados para a fabricação das placas, exceção feita ao tratamento **B7 IJ**, o qual fora deficiente no ensaio de ultra-som.

O objetivo, nesse último caso era o de verificar a sensibilidade do método não destrutivo na avaliação da qualidade da placa. Embora o tratamento de lavagem não tenha se mostrado satisfatório, principalmente quando da fabricação de compósitos à base de cimento CP-II-E-32, procurou-se efetuá-lo para evitar que possíveis alterações químicas ocorridas nas partículas, produzidas pelo armazenamento, pudessem criar um novo fator de perturbação dos resultados.

Tratamentos adotados com utilização do cimento CPV-ARI.

- 1) **M5 IJ;**
- 2) **B7 VD;**
- 3) **B5 VD;**
- 4) **M5 VD;**
- 5) **M5 IJ;**
- 6) **B7 IJ.**

4.3 Ensaio não destrutivo das placas prensadas

De uma forma global, observou-se a influência da qualidade da superfície das placas no resultado dos ensaios. Salvo raras exceções, a velocidade de propagação superficial da onda ultrassônica foi mais elevada quando obtida na face inferior, principalmente nos primeiros dias após a prensagem. Provavelmente, além do adensamento ser mais eficiente nessa região, o filme plástico que foi colocado no fundo da fôrma provocou um tipo de “vitrificação” da mistura. Sabe-se que a

qualidade de acabamento da superfície de um material desempenha um papel fundamental na magnitude da velocidade de propagação da onda ultra-sônica superficial.

Foi possível evidenciar a modificação estrutural na constituição das placas, decorrente das reações ocorridas no seio das misturas ao longo do tempo. Com efeito, pôde-se constatar o aumento significativo na magnitude das velocidades de propagação da onda ultra-sônica, à medida que aumentou a idade das placas, principalmente para aquelas cujo desempenho já havia sido destacado em ensaios anteriores (**B5 IJ**, média das velocidades igual a 1500 m/s). A placa **B7 IJ** (média das velocidades 980 m/s) mais uma vez mostrou-se totalmente inadequada, pois em vários pontos de medição a estrutura do material estava tão fragilizada que não permitiu detectar o tempo de propagação da onda ultra-sônica (figuras 56 a 59).

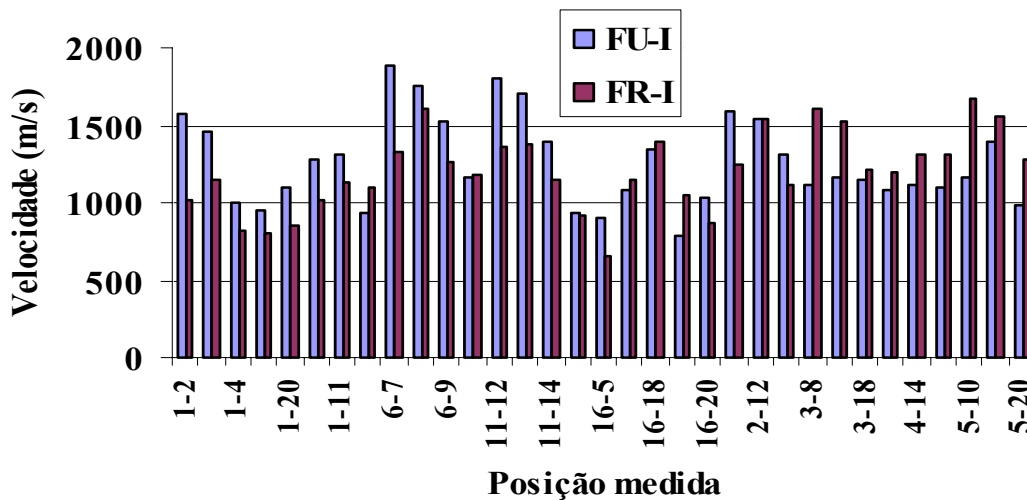


Figura 56- Velocidades de propagação iniciais (fundo e frente) para a placa **B5 IJ**.

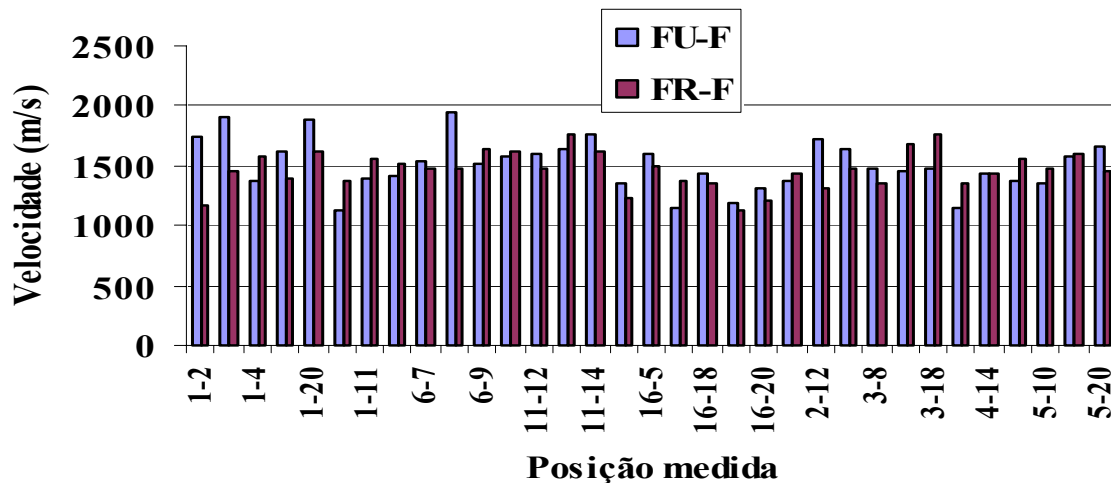


Figura 57- Velocidades de propagação finais (fundo e frente) para a placa **B5 IJ**.

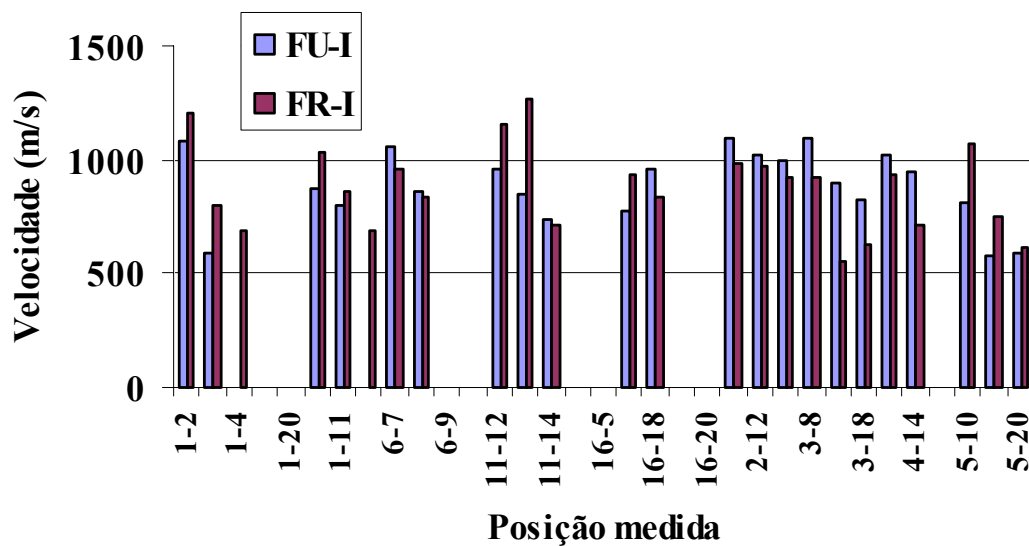


Figura 58- Velocidades de propagação iniciais (fundo e frente) para a placa **B7 IJ**.

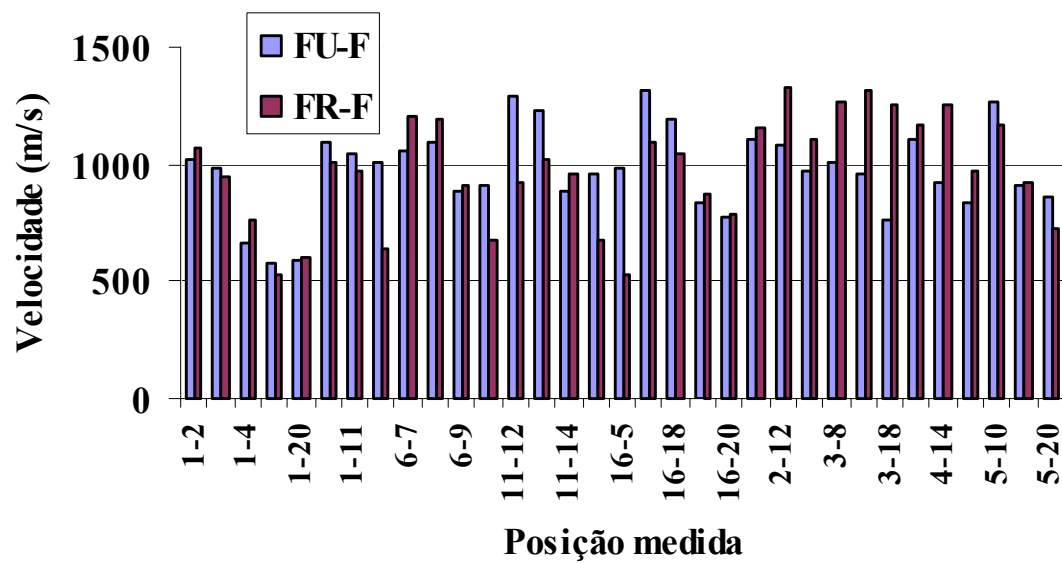


Figura 59- Velocidades de propagação finais (fundo e frente) para a placa **B7 IJ**.

4.4. Ensaio de compressão paralela à superfície

Nesse tipo de ensaio verifica-se o efeito produzido por um adensamento mais eficiente do que aquele obtido apenas pela compactação manual do material através de soquetes. Confirmando os resultados obtidos em ensaio de compressão simples constatou-se que o material de melhor desempenho em compressão paralela à superfície foi o **B5 IJ** (árvore com 5 anos, cortada e utilizada no inverno de 99), quando o ensaio foi conduzido em placas na condição seca ao ar.

Para materiais nos quais não tenha havido uma adequada combinação química entre a matriz e as partículas vegetais, a presença da água quebra ligações mais frágeis, principalmente quando são apenas de natureza física, ocasionadas pela prensagem. Para as placas ensaiadas na condição úmida, houve destaque para materiais provenientes de duas origens: **B7 VD** (árvore de 7 anos, cortada e utilizada no verão de 98) e, novamente, **B5 IJ**.

Cabe ressaltar, conforme descrito por ZUCCO (1999), que ocorreu uma perda relativamente reduzida de resistência das placas quando se comparou a resistência à compressão paralela entre as condições seca e úmida (figura 60). Tal fato não é observado no caso de materiais lignocelulósicos combinados com matrizes orgânicas (compensados e aglomerados), os quais não apresentam um bom desempenho mecânico quando são ensaiados na condição úmida, o que limita sua utilização apenas para ambientes não expostos às intempéries.

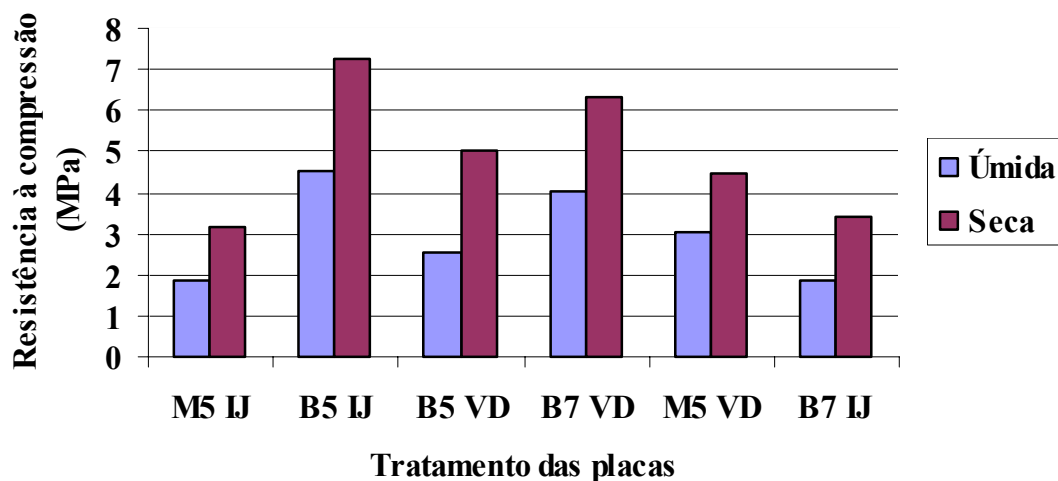


Figura 60- Compressão na direção paralela- condição seca e úmida

4.5. Ensaio de flexão estática

Os resultados foram semelhantes àqueles obtidos no caso precedente. As placas confeccionadas com materiais provenientes dos tratamentos **B5 IJ** e **B7 VD** mostraram melhor desempenho

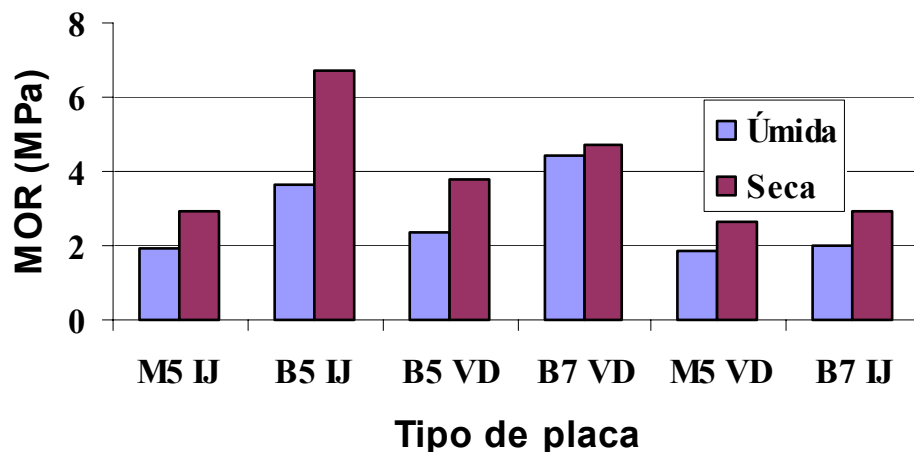


Figura 61- Flexão estática- condição seca e úmida

4.6 Absorção

A estrutura porosa do material facilita a rápida absorção de água. Na figura 62 pode-se observar que, em apenas duas horas de imersão, algumas placas atingiram 30% de absorção de água. Aparentemente, após decorridas 48 horas de imersão, a absorção das placas tendeu a se estabilizar. A exemplo do que fora observado em ensaios de caracterização mecânica, novamente a placa fabricada a partir do tratamento **B5 IJ** mostrou um melhor desempenho, apresentando uma absorção de água da ordem de 20%, a qual foi similar, por exemplo àquela recomendada para alguns tijolos cerâmicos.

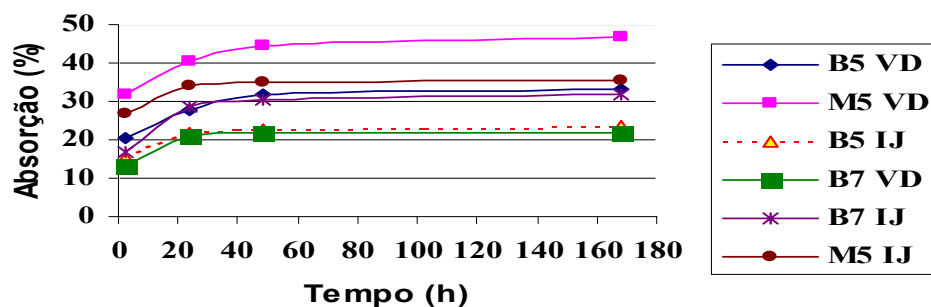


Figura 62- Absorção de água

4.7 Variações dimensionais

Um dos maiores problemas que ocorre com matrizes reforçadas com fibras naturais, sobretudo aquelas de origem vegetal, talvez seja a absorção excessiva de água e, em consequência, acarretando o surgimento de variações dimensionais no material que impedem que o mesmo possa vir a ser utilizado em ambientes não protegidos das intempéries. No entanto, compósitos à base de cimento e de uma fitomassa adequada podem apresentar um melhor comportamento do que os similares à base de resinas orgânicas (figuras 63 a 65).

Verificou-se, igualmente, a heterogeneidade do material, indicada pelas diferenças significativas obtidas ao longo das três direções analisadas. Com efeito, as variações dimensionais foram muito mais significativas quando medidas na direção segundo a qual se efetuou a prensagem (figura 63), embora sejam muito inferiores quando se comparam com compósitos à base de resinas orgânicas. As demais variações dimensionais, considerando-se as medidas efetuadas ao longo do largura (figura 66) e do comprimento (figura 65), foram nitidamente inferiores à variação dimensional na espessura.

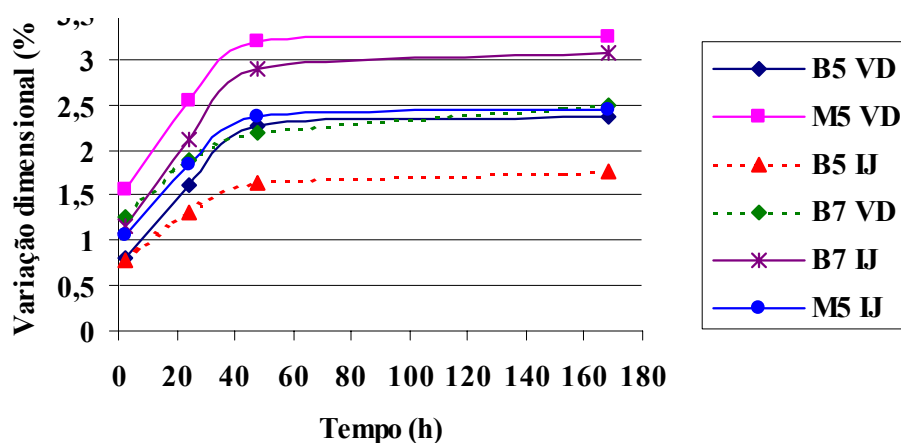


Figura 63- Variação dimensional na direção 3-4 (espessura)

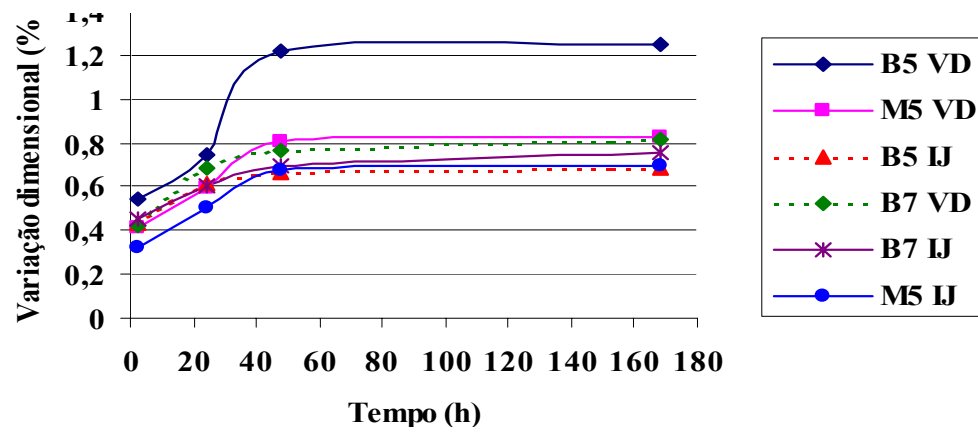


Figura 64- Variação dimensional na direção 1-2 (largura)

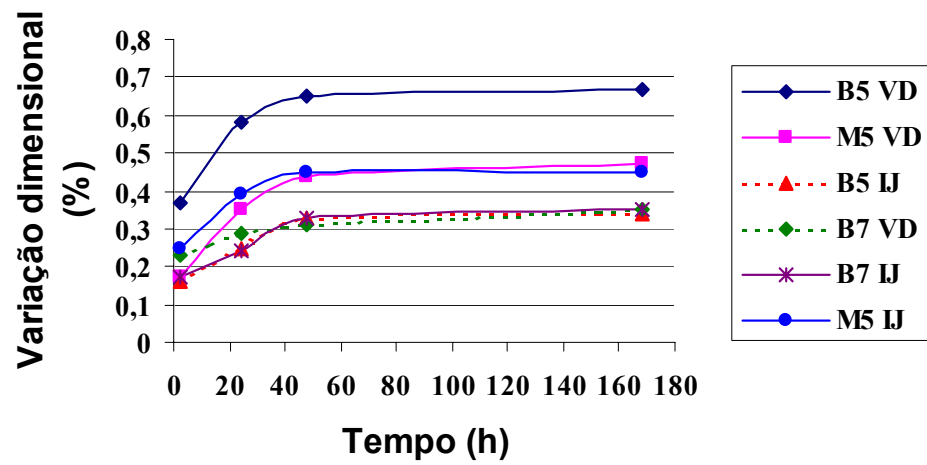


Figura 65- Variação dimensional na direção 5 (comprimento)

5. CONCLUSÕES

Baseado nas condições em que foi desenvolvido o experimento concluiu-se que:

- Partículas de *Eucalyptus grandis* são moderadamente inibitórias à pega do cimento Portland, sobretudo do CP-II-E-32;
- O tipo de cimento utilizado foi o principal fator de influência nos resultados. O uso do CP-V-ARI mostrou-se mais eficiente do que o CP-II-E-32, para a fabricação de compósitos;
- A lavagem das partículas dessa espécie de madeira não se mostrou necessária na maioria dos casos analisados;
- A época de corte e uso das partículas desempenhou um papel importante na resistência dos compósitos em compressão simples. A situação menos indicada para o uso do material foi obtida no tratamento VJ, ou seja, quando as toras permaneceram no campo durante 6 meses após o abate. Cada tipo de cimento utilizado mostrou maior sensibilidade ao fator época de corte e de uso. Para o CP V-ARI a melhor época foi IJ (corte e uso em julho); para o CP-II-E-32 foi VD (corte e uso em dezembro);
- Árvores de 5 anos de idade mostraram-se mais adequadas para a fabricação do compósito, sobretudo quando foi utilizado o cimento CP-V-ARI;
- Embora na maior parte dos casos estudados tenha sido observado o efeito da posição de amostragem na tora- a região da base mostrou tendência de apresentar os melhores resultados, em determinadas situações poder-se-ia utilizar o material total de uma tora na fabricação do compósito;
- Placas fabricadas com os melhores tratamentos mostraram um bom comportamento físico-mecânico, podendo ser recomendadas para usos em exteriores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL – ASTM. Standard methods of evaluating the properties of wood-based fiber and particle panel materials. In: Annual Book of ASTM Standards, ASTM D1037 – 78B. Philadelphia, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, Rio de Janeiro. NBR 5733 – Cimento Portland de alta resistência inicial, especificação. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

_____ **NBR 7211** – Agregado para concreto, especificação. Rio de Janeiro, 1983. 5p.

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

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

AROLA R.A. Chunkrete: An alternative to concrete. In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials Conference, Moscow, Idaho, 1992, vol 3, p. 121-131.

BARROS, Nairam Félix de; Relação solo-eucalipto. Viçosa, Editora Folha de Viçosa, 1990, p.18.

BERALDO, A . L . Compósitos Biomassa vegetal – cimento. IN: XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1994, Campinas Anais ... Campinas: SBEA, 1994 a . ZV v.1, p. 23.

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.

BIBLIS, E.J. e LO. (1968), "Sugars and others wood extractives: Effect on the setting of southern-pine cement mixtures". Forest Products Journal, **18**(8), F. 28-34.

BROKER, F.W., SIMATUPANG, M.H. Ursachen der Dimensionsänderung zementebundener Holzwerkstoffe. Holz als Roh-und Werkstoff, 1974, 32, p. 150-155.

BUGNA J. VASEY P. VETSCH T. (1981) "Le bois-ciment: un substitut possible à l'amiante-ciment?". Chantier/Suisse, Vol 12, p. 37-42.

BODIG, J. & JAYNE, B. A . Mechanics of wood and wood compósites. Van Nostrand Reinhold Company: 1992. p.711.

DINWOODIE, J.M, PAXTON, B.H. Wood-cement particleboards. A technical assessment. Journal of Applied Polymer Science. Applied Polymer Symposium, 1984, p. 271-227.

FISCHER V.F; WIENHAUS O; RYSEL M; OLDBRECHT J. (1974) "The water-soluble carboydrates of wood and their influence on the production of lightweigth wood-wools boards". Holztechnologie, **15**(1),p 12-19.

HACHMI, M. CAMPBELL A.G. (1988), "Wood-cement chemical relationship". In: International Conference of Fiber and Particleboard Bonded with Inorganic binder, Spokane, USA, Vol I, p. 43-47.

HACHMI, M. MOSLEMI, A.A. Correlation between wood-cement compatibility and wood extractives. Forest Products Journal, 1988, 39(6), p. 55-58.

HOFSTRAND, A.D. MOSLEMI, A.A. GARCIA, J.F. Curing characteristics of wood particles from nine Northern Rocky Mountain species mixed with Portland ciment. Forest Products Journal, 1984, 34(2), p. 57-61.

HOLDERNESS , . Marketing and opportunities for cement-bonded particleboards lesson from Great Britain and North America. In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials Conference, 1990, vol. 2, p. 129-132.

IRLE, M. SIMPSON, H. Agricultural residues for cement bonded composites. In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials Conference, 1992, vol. 3, p. 54-58.

KALAFATIS, P. COOPER, R.J. SMITH, C. The promotion of a new type of particleboard to architects – the case of Compak. Journal of the Institute of Wood Science, 1989, 11(5), p.86-192.

LEE, A.W.C (1990). The latest developments in the cement-bonded wood excelsior (wood-wood) board industry. In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials, vol 2, p. 102-107.

LEE, A.W.C. & SHORT, P.H. Pretreating hardwood for cement-bonded excelsior board. Forest Products Journal, v. 39(10), 1989, p. 68-70.

LEE, A.W.C. & HONG, Z. PHILLIPS, D.R. HSE, C. Y. Effect of cement/wood ratios and wood storage conditions on hydration temperature, hydration time and compressive strength of wood-cement mixtures. Wood and Fiber Science, 19(3), f. 262-268, 1987

LIEBER, V.W. RICHARTZ, W. Einß von Triäthanolamin, Zucker und Borsäure auf das Erstanen und Erhärten von Zementen. Zement-Kalk-Gips, 1972, n.º 9, p. 403-409.

LIGNUM. Bases technologiques matériaux dérivés du bois, matériaux à base de particules de bois et de liant minéral. Zenich, 1960, 9 p.

MILLER D.P. MOSLEMI A .A .(1991), “Wood-cement composites: Effect of model compounds on hydration characteristics and tensile strength”. Wood and Fiber Science, 23(4), p. 472-484.

MOSLEMI, A. A. ; PFISTER, Stephen 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, v.19, n° 2, p.155-175, 1987.

MOSLEMI, A. A.; GARCIA, J.F. ; HOFSTRAND, A. D. Effect of various treatments and additives on wood. Portland cement – water system. In: Wood and Fiber Science. V.15 (2). 1983. p.164-176.

MOSLEMI, A. A. , AHN, W.Y. SEM Examination of wood – Portland cement bonds Wood Science. V.13, n° 2, p. 77-82. 1980.

PAUL J. KRAMER; & THEODORE T. KOZLOWSKI; Fisiologia das árvores, 1960.

PIMIENTA, P. CHANDELIER, I. RUBAND, M. DUTRUEL, F. NICOLE, M. Étude de faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois. Cahiers du CSTB, Cahier 2703, Janv-fevrier, 1994, 45 p.

READING, T.J. Deleterious effects of wood forms on concrete surfaces. Concrete International, 1988, p. 57-62.

SINGH, N. B. Influence of calcium gluconate with calcium chloride or glucose on the hydration of cements. Cement Concrete Research. United States, v. 5 , n°. 6, p 545-550, 1975-76.

SCHWARZ, H.G. SIMATUPANG, M.H. Eignung des Buchenholzes zur Herstellung zementgebundener Holzwerkstoffe. Holz als Roh-und Werkstoff, 1984, 42, p.265-270.

SCHWARZ, H.G. Cement-bonded boards in Malaysia. In: International Congress on Fiber and Particleboard Bonded With Inorganic Binders, 1988, vol. 1, p. 91-92.

SIMATUPANG, M.H.; SCHWARZ. H ; BROCKERF. W. Small scale plants for the manufacture of mineral- bonded wood compósitos. In: Eighth WORLD FORESTRY Congress (1978; JAKARTA). Special paper Indonésia, 1978. p.21.

SIMATUPANG, M. H. Degradation of glucose, cellabiose, and wood under the influence of Portland cement paste. Holsforschunj v.40 (3), 1986.p.145-155.

SIMATUPANG, M. H. ; HANJE, H, KASIM, A, SEDDIIG, N. Influence of wood species on the setting of cement and jipsum. In: International conjres on fiber and particle boards bonbed with the inorganic binders V.1, 1988. p.33-42.

SIMATUPANG, M.H. HABIGHORST, C. The carbon dyoxide 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, 1992, vol 3, pag. 114-120.

VALENZUELA, W.A. (1989), “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, 135 p.

ZUCCO, L. L. Estudo da viabilidade de fabricação de placas de compósitos à base de cimento e casca de arroz, Campinas SP. Unicamp, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola).