

USO DE PARTÍCULAS DO BAMBU *DENDROCALAMUS GIGANTEUS* EM COMPÓSITOS DE BIOMASSA VEGETAL-CIMENTO

W. G. R. LOPES¹, A. L. BERALDO², W. J. FREIRE³

RESUMO: Na elaboração dos compósitos biomassa vegetal cimento (CBVC), a presença de algumas substâncias como açúcares e extrativos, constitui-se em grande entrave devido retardar a pega do cimento. O presente trabalho teve o objetivo de estudar o comportamento de CBVC, elaborados a partir de dois tipos de cimento, CP II E-32 e CP V ARI, associados às partículas da espécie de bambu, *Dendrocalamus giganteus*, usadas em dois estados, natural e lavado, e submetidas a quatro tipos de tratamentos químicos, testemunha, CaCl_2 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e mineralização. Os corpos-de-prova, executados com o traço 1:0,35:0,75 (cimento: Biomassa vegetal: água), foram ensaiados à compressão aos 15 dias, após cura ao ar livre. Constatou-se que o CBVC, com partículas de bambu tratadas com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, teve aumentada a resistência à compressão, com o bambu no estado natural tanto com o cimento CP II E-32 quanto com o CP V ARI. O cimento CP II E-32 com o bambu no estado lavado apresentou melhor desempenho com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. O tratamento químico das partículas de bambu não interferiu na resistência à compressão, quando se utilizou o cimento CP V ARI com o bambu lavado, enquanto com o cimento CP V ARI, usando-se, no CBVC, partículas de bambu em estado lavado e tratadas com CaCl_2 , bem como no estado natural, tratadas com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, houve maior resistência à compressão. A lavagem das partículas de bambu melhorou o desempenho do CBVC.

PALAVRAS-CHAVE: tratamento químico, compatibilidade, compósito

DENDROCALAMUS GIGANTEUS PARTICLES -CEMENT COMPOSITE

SUMMARY: In the elaboration of the composites vegetable cement biomass (CVCB), the presence of some substances as sugars and extractive, constitute in great trouble because it delays the connection of the cement with composites of biomassa vegetable (BV). The present work objectified to study the behavior of CVCB, that it elaborated from two cement types, CP II E-32 and CP V ARI, associated to the particles of the bamboo species, *Dendrocalamus giganteus*, used in two states, natural and washed, and submitted to four kind chemical treatments: control, CaCl_2 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ and mineralized. Specimens were manufactured with the ratio 1:0.35:0.75 (cement: BV: water), that they were tested to the compression to the 15 days, after outdoor curing. It was verified that CVBC, with treated bamboo particles with $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, had increased the resistance to the compression, with the bamboo in the natural state so much with the cement CP II E-32 as with CP V ARI. The cement CP II E-32 with the bamboo in the washed state presented better acting with $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. The chemical treatment of the bamboo particles didn't interfere in the resistance to the compression, when the cement CP V ARI was used with the washed bamboo, while with the cement CP V ARI there was larger resistance to the compression, when used in CVBC with bamboo particles washed and treated with CaCl_2 , as well as with them in the natural state, treated with $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. The wash of the bamboo particles improved the acting of CVBC.

KEYWORDS: chemical treatment, compatibility, composite

INTRODUÇÃO

O costume de se incorporar fibras vegetais aos materiais de construção é uma prática comum desde os tempos mais remotos, tendo-se referência do seu uso pelos antigos egípcios, no reforço da terra para a execução de adobe. Atualmente, vários materiais de construção são desenvolvidos a partir do uso de fibras, associadas a materiais inorgânicos, destacando-se as fibras sintéticas e minerais, que apesar de apresentarem excelente performance e grande variedade de tipos, são problemáticas no tocante ao consumo de energia necessário para sua produção, além de representarem ameaça à saúde dos operários encarregados de sua manipulação.

¹Mestre em Arquitetura, estudante do curso de Doutorado em Engenharia Agrícola da Universidade de Campinas
Rua Machado de Assis, 111, Apto. 94, Jardim Elite, Piracicaba – SP, CEP: 13.417-540 . e-mail: wgrlopes@imagenet.com.br

² Professor, Doutor, Dep. de Construções Rurais, Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

³ Professor Titular, Dep. de Construções Rurais, Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

De acordo com BERALDO et al. (1996), a inclusão da biomassa vegetal altera fortemente o comportamento da matriz, tornando o compósito dúctil e melhorando de forma significativa a capacidade de isolamento acústico, embora implique na redução da resistência mecânica e aumento da absorção. Para FREIRE (1991), o uso de fibras em matrizes cimentantes produz mudanças significativas, tais como aumento da resistência à tração e ao impacto, controle da fissuração, mudança do comportamento na ruptura e variação na trabalhabilidade da mistura fresca.

As fibras vegetais têm despontado como uma alternativa para substituição das fibras sintéticas e minerais em compósitos à base de cimento, ou de outros aglomerantes inorgânicos para confecção de componentes, utilizados na construção civil. Apresentam vantagens como a facilidade na obtenção, diversidade de espécies, baixo custo e baixo consumo de energia para sua produção. Neste sentido, várias pesquisas têm sido realizadas, visando o conhecimento das características físicas e químicas dos materiais, na perspectiva de resolver problemas de incompatibilidade junto ao cimento.

NOLASCO et al. (1992), ressaltaram como principais razões que justificam pesquisas para o uso de fibras vegetais no setor de construção civil, o escasseamento de fibras minerais, a busca de outros materiais para substituição do amianto, em reforço de matrizes de cimento, bem como os problemas decorrentes do crescente volume de resíduos sólidos depositados no solo e nas águas e a possibilidade de se obter materiais de construção de menor custo.

Segundo AGOPYAN & DEROLLE (1988) as fibras vegetais são heterogêneas, e dependem do tipo de solo, das condições climáticas, dos fertilizantes empregados, do tipo de colheita e da sua obtenção, das partes da planta, folhas, fruto ou do caule, merecendo cuidados especiais para o seu melhor desempenho no uso em compósitos.

BERALDO & ZOULALIAN (1995) apontaram os taninos, resinas e açúcares, presentes em algumas espécies vegetais, como as substâncias mais nocivas à pega do cimento. Em análise de partículas de bambu foram detectados através de cromatografia de alto desempenho, três tipos de açúcares: sacarose, glicose e frutose. Para BIBLIS & LO (1968), a concentração dos açúcares redutores na madeira tem um efeito definitivo sobre a pega do cimento, eleva o tempo de pega, à medida que o teor de açúcares aumenta.

Para minimizar os efeitos das substâncias agressivas à pega do cimento, em chapas de partículas de madeira cimento, TEIXEIRA & GUIMARÃES (1989) estudaram o efeito da imersão das partículas da espécie *Acacia mearnsii* De Wild, em água quente a 80°C durante os períodos de ½ hora e de uma hora, bem como o uso de cloreto de cálcio (CaCl₂), a 3% do peso do cimento, também com imersão em água quente, por uma hora e posterior adição de cloreto de cálcio na mistura, comparando os resultados com a testemunha, sem tratamento físico ou químico. O tratamento com imersão das partículas vegetais em água quente e com a adição de CaCl₂ foi o que apresentou melhores resultados. Nesse contexto, BERALDO (1995) relatou, ainda, que para minimizar o efeito negativo da biomassa vegetal em presença do cimento, têm sido feitos procedimentos como a lavagem das partículas em água (quente ou fria) ou em solução aquosa (cal, soda ou ácidos) ou imersão em soluções salinas (aluminatos, silicatos). Ainda segundo o autor, além do tratamento preliminar da biomassa vegetal, outros fatores concorrem para o êxito na execução dos CBC, tais como o emprego da matriz adequada, a escolha da granulometria e dosagem apropriadas e, ainda, o correto acondicionamento do CBC. Simatupang et al (1988), citado em BERALDO (1997) apontam as técnicas mais utilizadas para melhorar a compatibilidade entre a madeira e o cimento: maturação da madeira ou das partículas, extração dos componentes inibidores em meio aquoso, recobrimento das partículas com produtos que limitam a difusão dos constituintes em direção ao meio exterior, secagem em forno, utilização de cimento de alta resistência inicial (ARI), tratamento de carbonatação acelerada, entre outros.

Este trabalho apresenta estudo de resistência à compressão do CBC, constituído de cimento Portland, CP II E 32 ou CP V ARI associado a partículas de bambu *Dendrocalamus giganteus* em estado natural ou lavado e submetidas a tratamento químico.

MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Partículas Vegetais – Caracterização Física

Os colmos de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* utilizados para o ensaio, foram coletados na Escola Rural do Rio de Janeiro, tendo permanecido em estoque por mais de um ano, antes de seu uso. As partículas de bambu foram obtidas através de corte com facão, passagem em serra circular e trituração em moinho de martelo usado para produção de ração.

Inicialmente foi realizada a caracterização física do agregado vegetal, com determinação do teor de umidade, massa específica aparente e distribuição granulométrica.

3.1.1. Teor de umidade

O valor médio da umidade das partículas vegetais de 11,19% foi obtido de acordo com a fórmula, $h = \frac{(m_h - m_o) \times 100}{m_o}$, em que, m_h refere-se à massa úmida e m_o à massa anidra. Para avaliação da massa anidra, a massa úmida foi pesada, usando-se três repetições, colocada em cápsulas de metal e deixada em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, por 48 horas, quando então verificou-se o peso da massa seca (m_o).

3.1.2. Massa específica aparente

A massa específica aparente média das partículas vegetais de $221,24 \text{ g/cm}^3$ foi determinada pela média de três repetições, através da fórmula: $e = \frac{(m_t - m_f)}{v_f}$, em que m_f representa a massa do frasco (g), m_t , a massa total, frasco + madeira (g) e v_f , o volume do frasco (l)

3.1.3. Distribuição Granulométrica

Para definição da granulometria (Tabela 1) foram pesados 50 g do agregado vegetal, em balança de precisão e peneirados em uma série de peneiras com as malhas de: #4,80, #2,40, #1,20, #0,60, #0,30, #0,15. As peneiras foram empilhadas em ordem crescente de abertura de malhas, colocadas em agitador mecânico por cinco minutos.

Tabela 1 – Distribuição granulométrica das partículas de bambu

| Peneira | Massa | % retida | % retida acumulada |
|---------|-------|----------|--------------------|
| 4,8 | 0 | 0 | 0 |
| 2,4 | 0,39 | 0,78 | 0,78 |
| 1,2 | 8,43 | 16,86 | 17,64 |
| 0,6 | 16,39 | 32,78 | 50,42 |
| 0,3 | 15,47 | 30,94 | 81,36 |
| 0,1 | 6,17 | 12,34 | 93,70 |
| fundo | 3,32 | 6,64 | 100,34 |

3.2. Tipo de Aglomerante e Dosagem

Como aglomerante, foram utilizados dois tipos de cimento Portland, CP II E-32 e CP V ARI. Para confecção dos corpos-de-prova, foram utilizados moldes cilíndricos de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura. A quantidade necessária (em massa) para preenchimento dos três moldes foi calculada em 400 g de cimento, 140 g de biomassa vegetal e de 300 g de água, correspondendo ao seguinte traço: 1: 0,35: 0,75 (cimento; BV: água).

3.3. Teste de compatibilidade química

A compatibilidade química da biomassa vegetal com o cimento foi verificada com o acompanhamento da curva de hidratação da mistura cimento-bambu e água. As quantidades utilizadas foram 15 g de partículas (peneira #100) de bambu anidro, 200 g de cimento (CPII E 32 e CP V ARI) e 90,5 g de água. Após completa homogeneização as misturas foram colocadas em calorímetro, composto de recipientes individuais de isopor para cada mistura, registrando-se a temperatura de cinco em cinco minutos.

3.4. Preparação das amostras

O processo de lavagem das partículas de bambu consistiu na imersão em água quente a 80°C , por duas horas, seguido pela colocação em peneira, quando foram escorridas e lavadas em água corrente, e depois secadas ao ar livre.

Foram usados como aceleradores de pega CaCl_2 e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (cloreto e cálcio e sulfato de alumínio), ambos na proporção de 3% da quantidade de cimento (12 g) adicionados à água da mistura.

A mineralização foi realizada com material natural, através de banho das partículas em silicato de sódio (3%), e em seguida banho em sulfato de alumínio (20%).

3.5. Fabricação dos corpos-de-prova.

Na fabricação do CBC para elaboração dos corpos-de-prova, as partículas vegetais foram misturadas ao cimento e, em seguida, acrescentou-se a água, misturando-se novamente com espátula. A mistura obtida foi colocada nos moldes através de pequenas camadas e pressionadas com colher e soquete pequeno, realizando-se a operação de desmoldagem após 24 horas.

3.6. Ensaios

Os corpos-de-prova foram submetidos a ensaio de compressão simples após 15 dias de cura ao ar livre, em máquina de ensaios universal Versa Tester (Soiltest), em que a tensão de ruptura foi avaliada.

3.7. Análise estatística

Os tratamentos experimentais consistiram de bambu lavado, testemunha, CaCl_2 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e mineralizado, associados a dois tipos de cimento, CP II E32 e CP V ARI, e a dois estados de aplicação, natural e lavado. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições.

Os dados foram submetidos a análise de variância, através do programa SANEST, e a comparação de médias entre os tratamentos pelo teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva de hidratação da mistura bambu-cimento evidenciou a incompatibilidade química entre o bambu e os dois tipos de cimento. Enquanto as pastas confeccionadas com os dois tipos de cimento alcançaram temperaturas em torno de 103 °C após 5 horas, para o CP V ARI, e 66 °C após 6 horas, para o CP II E 32, as pastas com adição de partículas de bambu não ultrapassaram 30 °C (Figura 1).

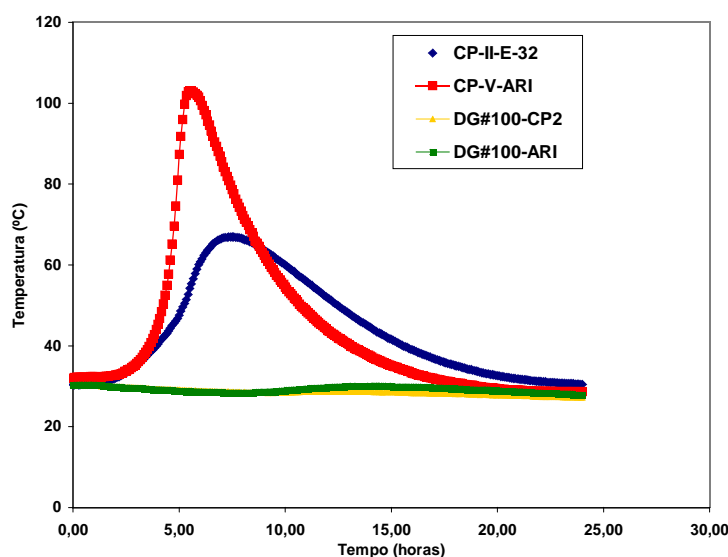


Figura 1 - Curvas de hidratação das pastas de cimento e de compósitos bambu-cimento

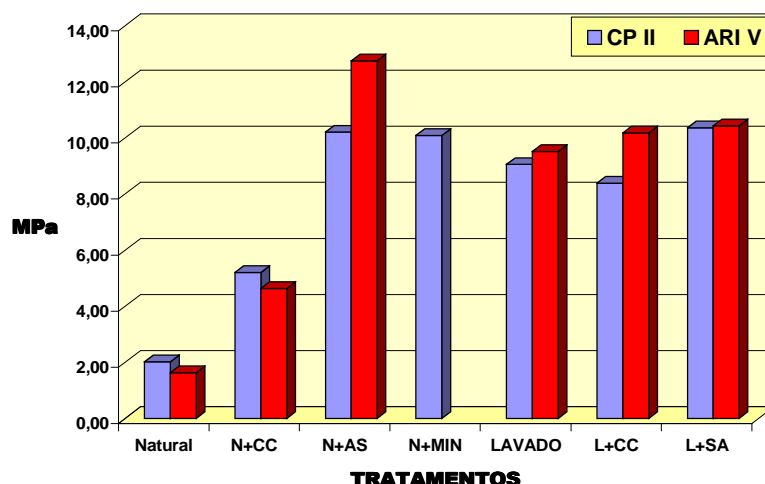
Os resultados de resistência à compressão simples dos corpos-de-prova, em função do tratamento químico e do tipo de cimento e do estado (natural ou lavado) do bambu, encontram-se na Tabela 2 e figura 2.

Verificou-se que houve interação significativa ($P < 0,01$), entre os tratamentos químicos do bambu, tipos de cimento e o estado de aplicação do bambu usados na confecção dos corpos-de-prova.

Assim, o melhor tratamento químico observado nos corpos de prova, confeccionados com cimento CP II E 32 com o bambu no estado natural, foi com o uso de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e mineralização, que foram semelhantes entre si, seguido de CaCl_2 e testemunha ($P < 0,01$). Com relação ao cimento CP V ARI com o bambu no estado natural, o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ teve comportamento similar ao do cimento CP II E 32 no estado natural, porém, com o bambu no estado lavado, constatou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos químicos aplicados ($P > 0,05$).

Tabela 2 – Valores da resistência à compressão (MPa) dos corpos de prova em função do tratamento químico dentro do tipo de cimento e do estado de aplicação do bambu

| Tratamento Químico | CP II E 332 | | CP V ARI | |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Natural | Lavado | Natural | Lavado |
| $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ | 10,210 ^A | 10,358 ^a | 12,738 ^A | 10,426 ^a |
| Mineralizado | 10,084 ^A | - | - | - |
| CaCl_2 | 5,201 ^B | 8,390 ^b | 4,641 ^B | 10,838 ^a |
| Testemunha | 2,016 ^C | 9,057 ^{ab} | 1,612 ^C | 9,528 ^a |



Letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa $P < 0,05$.
 Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa $P < 0,01$.

Figura 2. Efeito dos tratamentos na resistência à compressão

Os dados de resistência à compressão dos corpos de prova de acordo com o tipo de cimento usado e em função do tratamento químico e do estado de aplicação do bambu estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3.- Valores da resistência à compressão dos corpos de prova em função do tipo de cimento de acordo com o tratamento químico e o estado de aplicação do bambu

| Cimento | Testemunha | | CaCl ₂ | | Al ₂ (SO ₄) ₃ | |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---|---------------------|
| | Natural | Lavado | Natural | Lavado | Natural | Lavado |
| CP V ARI | 1,612 ^a | 9,522 ^a | 4,641 ^a | 10,838 ^A | 12,738 ^A | 10,426 ^a |
| CP II E 32 | 2,016 ^a | 9,057 ^a | 5,201 ^a | 8,390 ^B | 10,210 ^B | 10,358 ^a |

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa $P < 0,05$.
 Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa $P < 0,01$.

Observou-se que o tipo de cimento não influenciou a resistência à compressão no tratamento testemunha, com o bambu nos estados natural e lavado, e nos tratamentos com CaCl₂ e Al₂(SO₄)₃ no estado natural. No entanto, quando se utilizou CaCl₂ e Al₂(SO₄)₃ no estado lavado, o cimento ARI V teve melhor comportamento, com $P < 0,01$ e $P < 0,05$, respectivamente.

Os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova, de acordo com o estado de aplicação do bambu e em função do tratamento químico e do tipo de cimento, encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores da resistência à compressão dos corpos-de-prova em função do estado de aplicação do bambu dentro do tratamento químico e do tipo de cimento

| Estado | Testemunha | | CaCl ₂ | | Al ₂ (SO ₄) ₃ | |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---|---------------------|
| | CP II E32 | ARI V | CP II E32 | ARI V | CP II E32 | ARI V |
| Lavado | 9,057 ^A | 9,522 ^A | 8,390 ^A | 10,838 ^A | 10,358 ^a | 12,738 ^A |
| Natural | 2,016 ^B | 1,612 ^B | 5,201 ^B | 4,641 ^B | 10,210 ^a | 10,426 ^B |

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa $P < 0,05$.
 Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa $P < 0,01$.

A resistência à compressão dos corpos de prova, com o bambu no estado natural, foi inferior em todos os tratamentos químicos e tipos de cimento ($P < 0,01$), exceto com o emprego de Al₂(SO₄)₃ e cimento CP II E 32, em que não foi verificada diferença entre os estados de aplicação do bambu, natural e lavado.

CONCLUSÕES

O CBVC, com partículas de bambu tratadas com $Al_2(SO_4)_3$, teve aumentada a sua resistência à compressão, com o bambu no estado natural tanto com o cimento CP II E32 quanto com o CP V ARI.

O $Al_2(SO_4)_3$ melhorou o desempenho do CBVC como uso de cimento CP II E 32, com o bambu no estado lavado.

O tratamento químico das partículas de bambu não interferiu na resistência à compressão, quando se utilizou o cimento CP V ARI com o bambu lavado.

O cimento CP V ARI apresentou maior resistência à compressão, quando usado no CBVC com partículas de bambu em estado lavado e tratadas com $CaCl_2$, e também com as partículas no estado natural, tratadas com $Al_2(SO_4)_3$.

A lavagem das partículas de bambu melhorou o desempenho do CBVC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOPYAN, V.; DEROLLE, A. Materiais de construção reforçados com fibras: uso do papel-imprensa. In: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. *Tecnologia de Edificações*. São Paulo, Pini, 1988. cap1, p.35-38.
- BERALDO, A. L.; BARTHOLOMEU, A.; BATISTA, A. M.; FAGUNDES, A. C.; ROLIM, M. M.; SEGANTINI, A. A. Viabilidade de Fabricação de compósitos resíduos de madeiras e cimento (CBC). In: WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, São Paulo-SP, ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia de Ambiente Construído, 1996. *Anais*, p. 77-82. 1996.
- BERALDO, A. L.; ZOULALIAN, A. Efeito dos açúcares sobre as características físico-mecânicas de compósitos biomassa vegetal-cimento. In: XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 1995, Viçosa/MG. *Anais*. p.108, SBEA, 1995
- BERALDO, A. L. Compósitos Biomassa Vegetal-Cimento: Possibilidade de utilização como material de vedação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Rio de Janeiro, RJ, 1995. *Anais*, v.2. p.661-666.
- BERALDO, A. L. *Compósitos Biomassa Vegetal-Cimento*. In: TOLÊDO Fº, R. D.; NASCIMENTO, J. W. B.; GHAVAMI, K. Materiais não convencionais para construções rurais. Campina Grande, UFPB/ Sbea, 1997
- BIBLIS, E. J.; LO, C. sugars and others wood extractives: Effect on setting of southern-pine cement mixtures. *Forest Products Journal*, 18(8), 1968, p.97-90.
- FREIRE, W.J. Materiais Alternativos de Construção. In: BERALDO, A. L.; NÄÄS, I. de A.; FREIRE, W. F. *Construções Rurais - Materiais*. Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos, 1991. 167p.
- NOLASCO, A. M.; GHIELFI FILHO, H.; SILVA, I. J. de O.; NOLASCO, A.C.; FAVARIN, M. da G. G V. Utilização de fibras vegetais em materiais e construção. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 1992, Santa Maria/RS. *Anais*. p.169-177.
- TEIXEIRA, E. D.; GUIMARÃES, T. L.; Tratamento de partículas de *Acacia mearnsii De Wild.* para produção de chapas de cimento-madeira. Brasília, IBAMA, DIPRED, LPF, 1989. 9p.