



Compósitos à base de cimento reforçado com polpa celulósica de bambu. Parte II: Uso de resíduos cerâmicos na matriz



Marcos A. S. dos Anjos¹, Khosrow Ghavami² & Normando P. Barbosa³

¹ Escola Técnica Federal de Palmas. Coord. de Edificações, Av. LO 05 s/n, AESE 34, CEP 77000-000, Palmas, TO. Fone: (63) 225-1205. E-mail: malyssandro@etfto.gov.br (Foto)

² PUC-Rio. Rua Marquês de São Vicente 225, Gávea, CEP 22453-900, Rio de Janeiro, RJ. E-mail: ghavami@civ.puc-rio.br

³ CT/UFPB. CEP 58059-900, João Pessoa, PB. Fone: (83) 246-2669. E-mail: npperazzo@lsr.ct.ufpb.br

Protocolo 166 - 6/11/2002 - Aprovado em 13/8/2003

Resumo: Este é o segundo dos dois artigos relativos aos resultados experimentais da combinação de matriz cimentícia reforçada com polpa celulósica de bambu. Neste trabalho, são mostrados os resultados da investigação da substituição parcial do cimento por resíduo de fábrica de blocos cerâmicos. O cimento foi substituído em percentagens de 20, 30 e 40% em relação à massa de cimento. Essas combinações foram reforçadas com polpa de bambu refinada. Os procedimentos e programas experimentais foram os mesmos adotados no artigo anterior (Parte 1). Considerando-se os resultados dos ensaios de obtenção das propriedades mecânicas, a substituição de 20% foi a que apresentou melhor performance.

Palavras-chave: compósito, fibra vegetal, polpa de bambu, resíduo cerâmico

Cement-based composite reinforced with bamboo pulp. Part II: Use of ceramic residues in matrix

Abstract: This paper is the second part of a series of two articles concerning the experimental results of newly developed composite with cementations matrix reinforced with bamboo pulp. In this part the results of the investigations concerning the partial substitution of Portland cement by grinded residues from a brick factory are presented. The cement was partially replaced in percentages of 20, 30 and 40% by weight. These composites were reinforced with only refined bamboo pulp. The same procedures described in Part I were adopted and used in the experimental program. Considering the results of the mechanical properties it is verified that 20% of cement replacement presented the best results.

Key words: composite, vegetable fiber, bamboo pulp, ceramic residues

INTRODUÇÃO

As principais finalidades de se reforçar matrizes frágeis com fibras estão ligadas ao aumento da resistência à tração, flexão e ao impacto, prevenir ou retardar o aparecimento de fissuras, diminuindo a abertura das mesmas, e conferir maior capacidade de absorção de energia antes da ruptura. O tipo, a distribuição, a relação comprimento-diâmetro e a durabilidade das fibras, assim como o grau de aderência fibra-matriz, determinam o comportamento mecânico dos compósitos (Gray & Johnston, 1984).

Compósitos são materiais de duas ou mais fases que buscam melhorar determinadas propriedades que cada material em separado não apresenta. Entre essas propriedades pode-se citar a resistência à tração, resistência à flexão, rigidez, resistência à fadiga e condutibilidade térmica.

Os materiais compósitos podem ser classificados em três classes, quais sejam: compósitos com fibras, que consistem em fibras dispersas ou alinhadas dentro de uma matriz;

compósitos laminados, que são constituídos de camadas de diferentes materiais, e compósitos particulados (ou em partículas), que são partículas de determinado material inserido dentro de uma matriz (Jones, 1975).

Após décadas de pesquisas é possível produzir-se compósitos à base de cimento reforçados com fibras capazes de suprir a demanda necessária para a engenharia, em termos de capacidade de suportar cargas, controlar fissuras e absorver energia após a fratura. Porém, o desafio do século XXI está na necessidade de se obterem materiais de construção com baixo consumo de energia, duráveis e ecológicos, capazes de satisfazer a necessidade de infra-estrutura da população, sobretudo nos países em desenvolvimento (Swamy, 2000).

A viabilidade de produção dos compósitos reforçados com fibras naturais, principalmente as fibras de sisal e de coco, foi determinada em estudos realizados por Ghavami & Hombeck (1982) e Toledo (1997); no entanto, há preocupação sobre as propriedades de longa duração dos compósitos reforçados

com fibras naturais como, por exemplo, a perda da capacidade de absorver energia devido ao ataque químico do hidróxido de cálcio à lignina e hemicelulose presente nas fibras vegetais.

As fibras vegetais têm grande capacidade de absorção de água, o que faz com que esta seja drenada para dentro das fibras. Com a absorção, as fibras se expandem e durante a cura tendem a perder água para a matriz, retraindo-se e provocando, assim, um aumento da relação água/cimento na região interfacial entre a fibra e a matriz. Este comportamento foi verificado por Ghavami et al. (1999) para solos reforçados por fibras naturais, e por Savastano & Agopyan (1999) para matrizes à base de cimento reforçadas por fibras naturais.

Para diminuir o ataque às fibras vegetais pelos álcalis do cimento Portland e pelo hidróxido de cálcio originário da hidratação dos silicatos, têm sido sugeridas modificações na matriz pela inclusão de materiais pozolânicos. Toledo et al. (2000) e Savastano et al. (2000) utilizaram sílica ativa em diferentes proporções para substituir parcialmente o cimento. Marikunte et al. (1997) para diminuir o ataque alcalino do cimento às fibras de vidro, utilizaram metacaulinita e sílica ativa em proporções de 25% com a intenção de gerar uma reação pozolânica com conseqüente consumo do hidróxido de cálcio.

Várias propriedades dos compósitos podem ser melhoradas com a inclusão de sílica ativa, como alta resistência inicial e baixa permeabilidade, pois a reação pozolânica, além de melhorar aquelas características, promove a diminuição do efeito de parede que impede que as partículas de cimento Portland se arrumem de forma compacta na interface agregado-matriz cimentícia.

O uso de polpas celulósicas extraídas das fibras vegetais tem levantado bastante interesse, pois o processo de polpação confere remoção das impurezas não celulósicas, como a lignina e a hemicelulose, diminuindo o ataque às fibras pelo meio básico gerado pelo cimento. Os processos de polpação podem chegar a remover toda a lignina presente no material de origem (Smook, 1989), melhorando sobremaneira o desempenho desses compósitos.

O processo Kraft e o branqueamento são os procedimentos de polpação predominantes em todo o mundo. Na produção da polpa pelo processo Kraft os cavacos de madeira são aquecidos em um vaso de pressão (digestor) com licor de cozimento constituído principalmente de uma solução aquosa de hidróxido de sódio e de sulfeto de sódio. A razão entre madeira e licor, bem como a concentração do licor, a umidade dos cavacos e outras variáveis, devem ser cuidadosamente controladas (Phillip, 1998).

Neste trabalho considera-se o uso de polpas celulósicas de bambu refinadas no teor de 8% para reforço de matrizes cimentícias com substituição parcial do cimento por um material pozolânico proveniente do resíduo de fábrica de tijolos, utilizando-se o processo de produção Hatschek, em escala laboratorial.

Tabela 1. Características químicas e físicas do resíduo de tijolos

Composição Química Aproximada (%)						Características Físicas do Resíduo		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Massa Específica	Finura Blaine
59,7	17,9	9,8	2,5	2,3	0,1	0,9	2,78 kg dm ⁻³	512 m ² kg ⁻¹

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foi utilizado cimento Portland CP II E – 32, marca Eldorado. O CP II E já contém, em sua constituição, de 6 a 34% de escória de alto forno moída proporcionando, assim, uma matriz com menor teor de hidróxido de cálcio com conseqüente diminuição do ataque alcalino à lignina das fibras. A polpa celulósica foi proveniente da fábrica de papel Itapajé, localizada no Estado do Maranhão.

O material pozolânico empregado foi o resíduo de uma fábrica de blocos cerâmicos localizada no Estado da Paraíba. A moagem foi feita em um moinho de bolas e peneiramento na peneira com abertura de malha de 45 µm (#325). O material apresenta as características mostradas na Tabela 1, fornecidas pelo Laboratório de Ensaio e Materiais da Universidade Federal da Paraíba.

Os teores de substituição parcial do cimento utilizados foram 20, 30 e 40% de resíduos em substituição da massa do cimento. A nomenclatura utilizada para identificar os diferentes tipos de compósito, foi a seguinte: C: cimento; P: polpa refinada; R: resíduo; os números após C, P e R, representam a percentagem de reforço

Processo de fabricação dos compósitos e ensaios realizados

O processo de fabricação dos compósitos e os ensaios realizados estão descritos no artigo anterior (Parte 1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Absorção de água, porosidade aparente (vazios permeáveis) e densidades seca e úmida dos compósitos, são propriedades físicas inter-relacionadas, como pode ser visto na Tabela 2. A densidade dos compósitos com material pozolânico sofreu diminuição, embora fosse esperado um aumento na densidade e uma diminuição na porosidade aparente, devido ao efeito filler desejado. Esses fatos podem não ter ocorrido porque, aos 28 dias, as reações pozolânicas talvez não tenham sido completadas, como comentado por Soroushian & Marukunte (1994) e Mitchell et al. (1998). De fato, Alves (2002) usando resíduo cerâmico em argamassas, mostrou que, aos 91 dias, a argamassa com 35% de substituição atingiu a mesma resistência apresentada aos 28 dias pela argamassa de controle.

Os materiais pozolânicos têm influência benéfica sobre concretos e argamassas, tanto no comportamento mecânico como nas propriedades físicas, pois esses materiais reagem

Tabela 2. Propriedades físicas dos compósitos com material pozolânico e coeficiente de variação (CV)

% de Material Pozolânico	Absorção (%) e CV (%)	Porosidade Aparente (%) e CV (%)	Densidade Seca (kg m ⁻³) e CV (%)	Densidade Úmida (kg m ⁻³) e CV (%)
0	20,6 (8,7)	33,6 (4,9)	1640 (4,0)	1970 (2,3)
20	24,3 (2,9)	38,4 (1,6)	1580 (1,5)	1960 (1,0)
30	28,0 (2,8)	40,7 (1,3)	1460 (1,6)	1860 (1,0)
40	32,2 (2,7)	43,7 (1,2)	1360 (1,5)	1790 (0,8)

com o hidróxido de cálcio do cimento, produzindo C-S-H (silicato de cálcio hidratado), material mais resistente e estável, em uma reação mais lenta, que favorece a durabilidade dos compósitos, melhorando a resistência e a impermeabilidade do sistema devido ao processo de refinamento dos poros (Mehta & Monteiro, 1994). No caso de compósitos reforçados com fibras naturais, esses materiais pozolânicos fazem diminuir o ataque do meio cimentício às fibras devido à reação pozolânica. Pensando nesses benefícios é que se utilizou, neste trabalho, um material com propriedades pozolânicas proveniente do resíduo de fábricas de tijolos.

Verifica-se na Tabela 3 que a substituição parcial do cimento pelo resíduo pozolânico não acarretou grandes mudanças no comportamento mecânico à flexão para os compósitos com substituição de 20 e 30% da massa do cimento; no entanto, esta substituição pode ser benéfica na durabilidade dos compósitos e, ainda, acarretar diminuição no custo final do produto, visto que este material é um resíduo com baixo valor de mercado. A substituição proporciona a diminuição do uso de cimento Portland cuja produção é de alto impacto ambiental, além de incorporar resíduos danosos à natureza.

Tabela 3. Propriedades mecânicas dos compósitos com material pozolânico aos 28 dias

% Resíduo	Resistência à flexão (MPa) e CV (%)	MEF (GPa) e CV (%)	Energia Específica (kJ m^{-3}) e CV (%)	Deflexão na Ruptura (mm) e CV (%)
0	14,5 (8,4)	9,8 (13,2)	0,56 (38,9)	0,77 (23,7)
20	12,6 (10,0)	9,4 (7,0)	0,57 (11,4)	0,76 (15,4)
30	12,0 (7,7)	8,5 (5,0)	0,55 (22,5)	0,80 (16,7)
40	8,7 (9,9)	5,7 (9,2)	0,57 (23,1)	0,85 (20,7)

Com uma substituição parcial do cimento por 40% de material pozolânico, ocorreu uma redução de 32% na resistência à flexão. Acredita-se que a baixa reatividade deste material pozolânico nas primeiras idades, dificulte a incorporação do resíduo em percentagens maiores que 30%. Curvas típicas de tensão na flexão versus deflexão para os compósitos são mostradas na Figura 1.

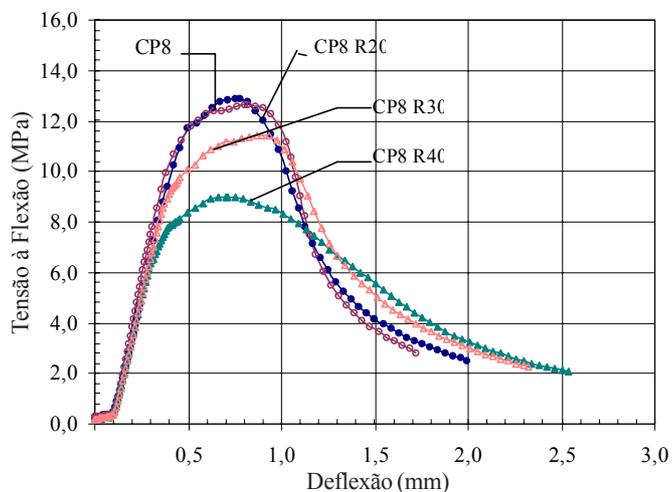


Figura 1. Tensão de flexão vs deflexão dos compósitos com resíduo cerâmico, reforçado com 8% de polpa refinada

Em trabalhos realizados na PUC-Rio (C.S. Rodrigues - comunicação pessoal), dentro da linha de pesquisa em materiais de construção não convencionais, verificou-se o comportamento dos compósitos com substituição parcial da massa de cimento Portland por sílica ativa, nas proporções de 5, 10, 20 e 40%, reforçados com 8% de polpa de bambu e cura por imersão na temperatura de 75-80 °C. A Figura 2 mostra uma comparação entre os resultados desses compósitos com substituição de 20 e 40% de cimento por fumo de sílica (SF) com aqueles em que o material de substituição foi o resíduo de tijolos, nas mesmas proporções adotadas no presente trabalho.

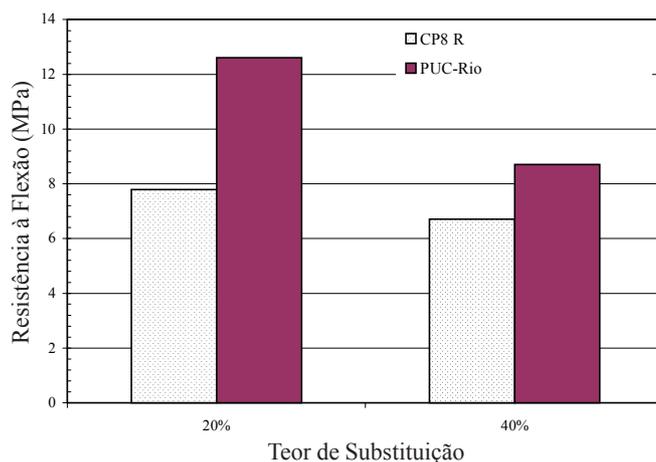


Figura 2. Resistência à flexão para diferentes substituições do cimento

Verifica-se que a resistência à flexão dos compósitos com sílica ativa foi inferior à dos compósitos com substituição por resíduos de tijolos (Figura 2), embora se esperasse que o uso de microsilica produzisse compósitos com maiores resistências, devido à sua alta reatividade em relação ao resíduo pozolânico.

Coutts & Tobias (1994) e Coutts & Ni (1995) determinaram que a percentagem ideal de reforço para os compósitos reforçados com polpa refinada de bambu era de 14% quando utilizaram compósitos à base de cimento e sílica ativa, na proporção de 1:1 e cura ao ar e em autoclave, respectivamente. As Figuras 3 e 4 mostram uma comparação entre os resultados encontrados naqueles trabalhos e os verificados na Parte I

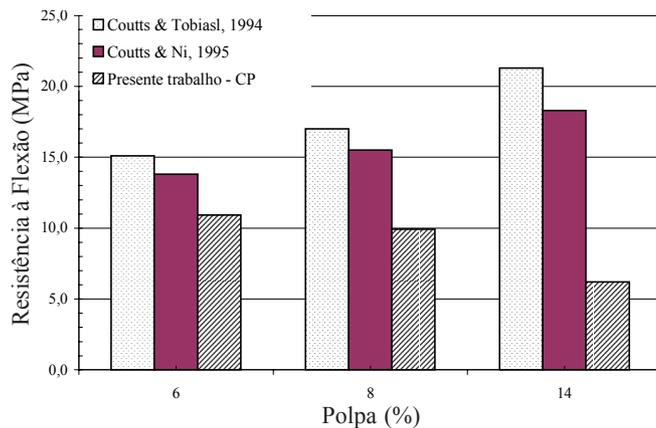


Figura 3. Resistência à flexão em função do teor de polpa refinada

(Anjos et al. 2003), para os compósitos com diferentes teores de polpa refinada (CP) sem o uso de material pozolânico.

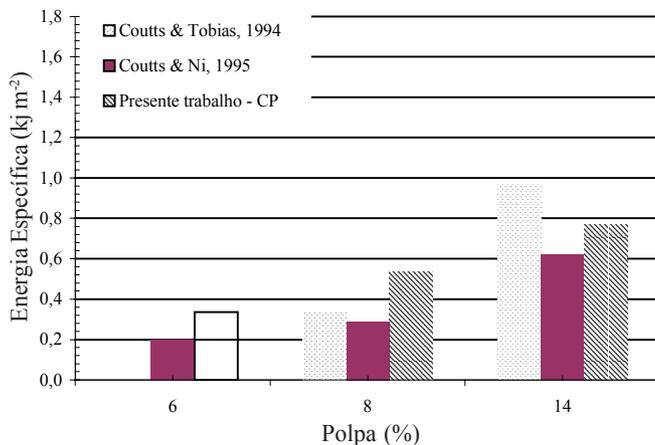


Figura 4. Energia específica em função do teor de polpa refinada

As resistências à flexão dos compósitos reforçados com polpa de bambu, determinadas por Coutts & Tobias (1994) e Coutts & Ni (1995), são ligeiramente superiores às determinadas neste trabalho, para os teores de 6 e 8%, o que pode ser explicado pelo alto teor de microssilica utilizado, o que acarreta grande influência nas resistências dos compósitos de matrizes cimentícias e melhor distribuição das fibras no interior desses compósitos. No entanto, verifica-se que a capacidade de absorver energia na flexão é maior para todos os teores empregados nos compósitos deste trabalho, em relação aos apresentados pela bibliografia, demonstrando o grande potencial das polpas de bambu utilizadas.

Finalmente, diz-se que os compósitos com substituição do cimento por resíduos pozolânicos e polpas vegetais, poderiam perfeitamente gerar produtos de larga aplicação na construção civil, ecológicos e de menor custo, comparados aos produtos comumente empregados. Para peças expostas, estudos a respeito da durabilidade devem ser conduzidos.

CONCLUSÕES

1. A substituição de cimento por resíduo cerâmico no teor de 20%, não alterou as propriedades físicas dos compósitos na idade de 28 dias, devido à baixa reatividade nas primeiras idades da pozolana produzida a partir do resíduo.

2. Os compósitos com substituição de 20% de cimento apresentaram, praticamente, as mesmas propriedades mecânicas que o compósito sem substituição, acarretando uma economia no produto final, considerando-se que a pozolana foi produzida a partir de resíduos de tijolos.

3. Os compósitos com e sem substituição de cimento por resíduos pozolânicos, apresentaram melhores desempenhos nos ensaios de flexão que os compósitos em que se utilizou sílica ativa, apresentados na bibliografia.

4. As propriedades físicas e mecânicas desses compósitos devem ser determinadas a maiores idades.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela concessão da bolsa de Mestrado ao primeiro autor, e aos programas PROCAD da CAPES, FAPERJ e CNPq, pelo apoio financeiro, e ao colega Conrado Rodrigues.

LITERATURA CITADA

- Alves, S.M.S. Desenvolvimento de compósitos resistentes através da substituição parcial do cimento por resíduos da indústria cerâmica. João Pessoa: UFPB, 2002. 70p. Dissertação Mestrado
- Coutts, R.S.P.; Ni, Y. Autoclaved bamboo pulp fibre reinforced cement. *Cement and Concrete Composites*, England, v.17, p.99-106, 1995.
- Coutts, R.S.P.; Tobias, B.C. Air-cured bamboo pulp reinforced cement. *Journal of Materials Science Letters*, v.13, p.283-285, 1994.
- Ghavami, K.; Hombeek, R.V. Application of coconut husk as an insulating material. CIB, Symposium on Building Climatology, Moscow, p.1-10, 1982.
- Ghavami, K.; Toledo Filho, R.D.; Barbosa, N.P. Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres. *Cement and Concrete Composites*, England, v.21, p.39-48, 1999.
- Gray, R.J.; Johnston, C.D. The effect of matrix composition of fibre/matrix interfacial bond shear strength in fiber-reinforced mortar. *Cement and Concrete Research*, v.14, p.285-296, 1984.
- Jones, R.M. *Mechanics of composite materials*. McGraw-Hill Company, 1975. p.368.
- Marikunte, S.; Aldea C.; Shah, S.P. Durability of glass fiber reinforced cement composites: effect of silica fume and metakaolin. *Advanced Cement Based Materials*, v.5, n.3-4, p.100-108, 1997.
- Mehta, K.; Monteiro, J.P. *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. 1. São Paulo: Editora Pini, 1994. 573p.
- Mitchell, D.R.G.; Hinczak, I.; Day, R.A. Interaction of silica fume with calcium hydroxide solutions and hydrated cement pastes. *Cement and Concrete Research*. v.11, 1998. p.1571-1584.
- Phillip, P. *Celulose e papel*, vol. 1: Tecnologia da fabricação de pasta celulósica. 2. ed. São Paulo: Editora IPT, 1988. 635p.
- Savastano Júnior, H.; Agopyan, V. Transition zone studies of vegetable fibre-cement paste composites. *Cement and Concrete Composites*, England, v.21, p.49-57, 1999.
- Savastano Júnior, H.; Warden, P.G.; Coutts, R.S.P. Brazilian waste fibers as reinforcement of cement-based composites. *Cement and Concrete Composites*, England, v.22, p.379-384, 2000.
- Smook, G. A. *Handbook for pulp and paper technologists*. Joint Committee of the Paper Industry, Canadá. 1989. 220p.
- Soroushian, P.; Marikunte, S. Durability characteristics of cellulose fiber reinforced cement composites. *Fiber Reinforced Concrete: Developments and Innovations*. American Concrete Institute-ACI. p.73-89, 1994.
- Swamy, R.N. FRC for sustainable infrastructure regeneration and rehabilitation. *Fibre-Reinforced Concretes (FRC)*, BEFB/RILEM. p.5-17, 2000.
- Toledo Filho, R.D. *Materiais Compósitos Reforçados com Fibras Naturais: Caracterização Experimental*. Rio de Janeiro: PUC, 1997. 472p. Tese Doutorado
- Toledo Filho, R.D.; Scrivener, K.; England, G.L.; Ghavami, K. Durability of alkalisensitive sisal and coconut fibers in cement mortar composites. *Cement and Concrete Composites*, England, v.22, p.127-143, 2000.