



Marcelo de Souza Picanço

Compósitos cimentícios reforçados
com fibras de curauá

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Estruturas.

Orientador: Khosrow Ghavami

Rio de Janeiro, abril de 2005



Marcelo de Souza Picanço

Compósitos cimentícios reforçados
com fibras de curauá

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil do Centro Técnico Científico da PUC-Rio em Engenharia Civil. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Khosrow Ghavami

Presidente Orientador
Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Conrado de Souza Rodrigues

Universidade Federal de Viçosa

Prof^ª. Djenane Cordeiro Pamplona

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Felipe José da Silva

Instituto Militar de Engenharia

Prof. João Luís Pascal Roehl

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial
do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 04 de abril de 2005

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, autora e do orientador.

Marcelo de Souza Picanço

Graduou-se em Engenharia Civil na Universidade Federal do Pará (UFPA), em novembro de 2002 .

Ficha Catalográfica

Picanço, Marcelo de Souza

Compósitos cimentícios reforçados com fibras de curauá / Marcelo de Souza Picanço ; orientador: Khosrow Ghavami. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Civil, 2005.

101 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil – Teses. 2. Fibra de curauá. 3. Fibra de juta. 4. Fibra de sisal. 5. Compósitos cimentícios. 6. Materiais convencionais. I. Ghavami, Khosrow. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil . III. Título.

CDD: 624

A minha avó Iracema Rabelo Flexa de
Souza, com carinho e dedicação.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, e a todas as pessoas que me ajudaram diretamente e indiretamente, pois um trabalho experimental depende da vontade e competência de um grupo de pessoas, a elas minha eterna gratidão.

Ao Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio pela oportunidade.

Ao Professor Khosrow Ghavami, pela orientação, confiança, estímulo e dedicação no desenvolvimento desta dissertação.

A Angela Teresa Costa Sales pela ajuda.

A minha mãe, Zelea Flexa de Souza e aos meus irmãos Mauro e Junior.

Ao meu Tio Vespasiano e a toda minha família.

Ao meu amor Luciana Fonseca Damaso de Andrade.

Aos meus amigos Carol, Jair e Leandro (Bob).

Aos funcionários do laboratório onde foram realizados os ensaios desse trabalho.
LEM: Euclídes, José Nilson e equipe, e ao IME.

A CAPES pelo apoio financeiro.

Resumo

Picanço, Marcelo de Souza; Ghavami, Khosrow. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras de curauá.** Rio de Janeiro, 2005. 101p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A busca por materiais alternativos que possam substituir as fibras de amianto, compondo o fibro-cimento, tem-se tornado objeto de estudos recorrentes. As fibras vegetais surgem como opção econômica, salubre e ecologicamente adequada. O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento da adição da fibra de curauá em compósitos cimentícios, visando substituir o amianto. Essa fibra mineral é bastante conhecida pelos danos que provoca à saúde humana, já tendo sido banida em muitos países industrializados. Desde 1979, o Grupo de Pesquisas em Materiais não Convencionais da PUC-Rio tem desenvolvido trabalhos sobre a aplicação das fibras vegetais, disponíveis em abundância no Brasil, na fabricação de componentes para a construção civil, visando, principalmente, a produção de habitação popular. A fibra de curauá é de uso popular, na região conhecida como Baixo-Amazonas, oeste do Estado do Pará, na manufatura de cordas, cestas e tapetes, já existindo os primeiros plantios em escala comercial. Pouco conhecida nas demais regiões do país, a fibra de curauá ainda carece de estudos específicos sobre suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, que possibilitem sua aplicação segura em compósitos para a construção civil. Nesse trabalho, foram estudadas as propriedades físicas, mecânicas e micro-estruturas das fibras de curauá, bem como de compósitos cimentícios que as tiveram como reforço. Buscou-se comparar o desempenho das fibras de curauá e de seus compósitos, com as fibras e compósitos de amianto e de outras fibras vegetais, tais como sisal, coco e juta. Os dados das fibras de sisal e coco, tomados para efeito de comparação, foram oriundos de trabalhos anteriores do mesmo grupo de pesquisas da PUC-Rio. Para as fibras de juta e compósitos cimentícios com reforço de juta e de sisal, foram obtidos dados através de ensaios realizados no escopo desse trabalho. Os resultados mostraram que a fibra de curauá possui características físicas e mecânicas que as habilitam à aplicação como reforço de matrizes cimentícias, principalmente

quando for almejada uma maior ductilidade e capacidade de resistência após a fissuração da matriz.

Palavras-chave

Fibra de curauá, fibra de juta, fibra de sisal, compósitos cimentícios, materiais não convencionais.

Abstract

Picanço, Marcelo de Souza; Ghavami, Khosrow (Advisor). **Cimentitious composites reinforced with curauá fiber**. Rio de Janeiro, 2005. 101p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In recent years, there has been an intense search worldwide for an alternative material, which can substitute the asbestos fibre, a component of the asbestos cement, which has been found to be hazardous to human and animal health and has been banned already in many countries. Since 1979 the Non-conventional Materials Research Group of PUC-Rio has carried out works on the application of vegetable fibres, available in abundance in Brazil, for the fabrication of construction components, aiming mainly at the fabrication of popular housing. The curauá fibre has been studied as it is already of popular use in the manufacturing of ropes, baskets and carpets in the region, known as Baixo Amazonas, in the state of Para, where the first plantations have been organized on a commercial scale. In this work, the physical, mechanical and micro-structural properties of the curauá fibres, as well as their application as a cimentitious matrix reinforcement, have been studied. The performance of curauá fibres and its composites was compared with other vegetable fibres, such as sisal, coconut and jute, as a substitute for asbestos fibres and its composites. The data on sisal and coconut fibres from previous works by the same research group at PUC-Rio was considered for comparison. The behaviour of jute fibres, as well as cimentitious composites, reinforced with jute and sisal fibres, have also been studied in this work. The results have shown that the curauá fibre has good physical and mechanical characteristics that make it suitable to be used as reinforcement of cimentitious matrices, with a high ductility and post-cracking resistance capacity.

Keywords

Curauá fibre, jute fibre, sisal fibre, cimentitious composites, non-conventional materials.

Sumário

1.0 - Introdução	17
2.0 - Revisão Bibliográfica	20
2.1 Conceituação	20
2.2 Compósitos reforçados por fibras vegetais	20
2.2.1 Fibras vegetais	23
2.2.1.1 Microestrutura das fibras vegetais	25
2.2.1.2 Propriedades físicas e mecânicas das fibras vegetais	27
2.2.1.3 Fibras de curauá	28
2.2.1.4 Fibras de sisal	30
2.2.1.5 Fibras de juta	31
2.2.2 Matrizes cimentícias	33
2.2.3 Propriedades dos compósitos cimentícios com fibras vegetais	34
2.2.3.1 Propriedades mecânicas	34
2.2.3.1.1 Comportamento sob compressão	34
2.2.3.1.2 Comportamento sob flexão	36
2.2.3.2.1 Análise da Tenacidade	38
2.2.3.1.3 Comportamento sob tração	41
2.2.3.2 Durabilidade	42
2.3 Cimento Amianto	43
3.0 Procedimento Experimental	45
3.1 Materiais utilizados	45
3.1.1 Determinação das propriedades físicas das fibras	46
3.1.2 Determinação da resistência à tração das fibras de curauá e de juta	50
3.2 Produção dos corpos-de-prova	51
3.3 Propriedades mecânicas do compósito	56
3.3.1 Ensaios de compressão	56

3.3.2 Ensaio de tração por compressão diametral	58
3.3.3 Ensaio à Flexão	59
3.4 Microscopia das fibras e dos compósitos com fibras de curauá	61
4.0 Apresentação e análise dos resultados	62
4.1 Propriedades físicas e mecânicas das fibras vegetais	62
4.2 Propriedades mecânicas do compósito	67
4.2.1 Resistência à compressão	67
4.2.2 Resistência à tração por compressão diametral	71
4.2.3 Resistência à Flexão	73
4.2.3.1 Análise da tenacidade	76
4.3 Análise da microestrutura das fibras de curauá e do compósito com fibras de curauá	81
5.0 Conclusão	83
6.0 Referências Bibliográficas	87
Anexo A	91
Anexo B	92
Anexo C	99

Lista de Figuras

Figura 2.1	Esquema da Constituição dos Compostos Fibrosos.	21
Figura 2.2	Classificação das Fibras Vegetais.	24
Figura 2.3	Esquema de uma fibro-célula de uma fibra vegetal com dimensões aproximadas.	26
Figura 2.4	Planta Curauá com seu plantio adensado (a) e comprimento aproximado (b).	29
Figura 2.5	Foto planta de sisal.	31
Figura 2.6	Arbustos de Juta.	32
Figura 2.7	Esquema de matrizes para compósitos.	33
Figura 2.8	Comportamento à flexão de uma material elástico perfeito e elasto-plástico perfeito, fonte Bentur e Mindess (1990).	38
Figura 2.9	Definição dos pontos para cálculo dos índices de tenacidade segundo a ASTM C1018 (1992).	40
Figura 2.10	Definição do índice de tenacidade segundo a NBN B15-238 (1992).	41
Figura 3.1	Curva Granulométrica da Areia.	46
Figura 3.2	(a) Projetor de Perfil da marca Deltronic usado para medir diâmetro da fibra, (b) esquema explicativo do processo de funcionamento.	47
Figura 3.3	Fibras de Curauá (a) e Frasco de Chapman (b).	49
Figura 3.4	(a) Corpo de prova com uma única fibra de curauá, (b) Ensaio de tração na fibra.	51
Figura 3.5	(a) Vista frontal do molde cilíndrico com $\varnothing = 50$ mm e $L = 100$ mm, (b) Vista superior do molde cilíndrico.	53
Figura 3.6	Molde de madeira para 6 vigas, com $L = 300$ mm e área de seção transversal 50 mm x 50 mm.	53
Figura 3.7	Corpos-de-prova cilíndricos em processo de cura por imersão em água.	55

Figura 3.8	Esquema do ensaio de compressão simples.	57
Figura 3.9	Esquema para calculo do módulo de elasticidade.	58
Figura 3.10	Esquema do ensaio de tração por compressão diametral.	59
Figura 3.11	Esquema do ensaio à flexão em quatro pontos.	60
Figura 4.1	Absorção de água das Fibras vegetais.	64
Figura 4.2	Absorção de água da fibra de curauá e juta até a primeira hora.	65
Figura 4.3	Diagrama tensão-deformação da fibra de curauá.	67
Figura 4.4	Tensão-deformação na compressão de compósitos com fibra de curauá.	70
Figura 4.5	Tensão-deformação na compressão de compósitos com fibras variadas.	70
Figura 4.6	Relação tensão-deformação na compressão para a mistura CPC25-3%.	71
Figura 4.7	Corpos-de-prova rompidos após ensaios de compressão.	71
Figura 4.8	Resistência à tração por compressão diametral.	72
Figura 4.9	Corpos-de-prova rompidos após ensaios de tração por compressão diametral.	73
Figura 4.10	Curva carga-deslocamento sob flexão em 4 pontos. CPN00-0% (a) e CPC25-3% (b)	74
Figura 4.11	Curva carga-deslocamento sob flexão em 4 pontos. CPC25-2% (a) e CPC45-3% (b).	74
Figura 4.12	Curva carga-deslocamento sob flexão em 4 pontos. CPC45-2%(a) comparação entre misturas(b).	74
Figura 4.13	Corpo-de-prova durante ensaio à flexão.	76
Figura 4.14	Índices de tenacidade de ASTM C1018 para compósitos com fibras de curauá.	77
Figura 4.15	Índices de tenacidade propostos pela norma japonesa JCI-JCSE-SF4 (1983).	78

Figura 4.16	Índice de resistência adimensional P^*n para compósitos reforçados com fibras curtas de curauá.	79
Figura 4.17	Índice de Tenacidade FT, calculado de acordo com a NBN B15-238 (1992), para compósitos reforçados com fibras curtas de curauá.	80
Figura 4.18	a-d– Microscopia da fibra de Curauá.	81
Figura 4.19	a-b - Microscopia no compósito com fibras de curauá após ensaio à flexão.	82

Lista de Tabelas

Tabela 2.1	Propriedades físicas das fibras naturais vegetais.	27
Tabela 2.2	Propriedades mecânicas das fibras naturais vegetais.	28
Tabela 2.3	Valores de ensaios de compressão de autores diferentes.	35
Tabela 2.4	Valores de ensaios de flexão.	36
Tabela 2.5	Comportamento de compósitos reforçados com fibras vegetais à tração direta.	42
Tabela 2.6	Propriedades mecânicas do cimento amianto.	44
Tabela 3.1	Programa experimental das misturas.	56
Tabela 4.1	Diâmetro, teor de umidade e peso específico das fibras.	63
Tabela 4.2	Absorção de água das fibras no tempo.	63
Tabela 4.3	Propriedades mecânicas das fibras de curauá e juta.	67
Tabela 4.4	Resultados dos ensaios à compressão.	68
Tabela 4.5	Resultados dos ensaios à flexão.	73
Tabela 4.6	Índices de tenacidade dos compósitos sob flexão, segundo as Normas ASTM (1992) e JCI-JCSE-SF4 (1983).	76
Tabela 4.7	Índices de tenacidade definidos pela NBN B15-238 (1992).	78

Lista de Símbolos

\emptyset	Diâmetro da fibra vegetal em mm
V_f	Fração volumétrica das fibras
H	Teor de umidade natural da fibra vegetal
μ	Peso específico de fibra vegetal
A	Absorção de água da fibra vegetal em porcentagem
CV	Coeficiente de variação
E	Módulo de elasticidade
ϵ_{axial}	Deformação axial no compósito
ϵ_v	Deformação volumétrica
ϵ_l	Deformação longitudinal
ϵ_t	Deformação transversal
σ_f	Tensão de compressão final
σ_i	Tensão de compressão inicial
ϵ_{lf}	Deformação longitudinal final
ϵ_{li}	Deformação longitudinal inicial do compósito
ν	Coeficiente de Poisson
$\sigma_{m\acute{a}x}$	Resistência máxima
f'_t	Resistência à tração por compressão diametral
σ_{LOP}	Tensão de flexão correspondente ao limite de proporcionalidade
$P_{m\acute{a}x.}$	Carregamento máximo à flexão
$\delta_{LOP.}$	Deslocamento no limite de proporcionalidade à flexão
CPN	Argamassa plena com traço em peso 1:1:0,45
CPF25	Compósito com fibras de sisal com comprimento de fibra de 25 mm
CPF45	Compósito com fibras de sisal com comprimento de fibra de 45 mm
M1	Argamassa plena com traço em peso 1:1:0,40
M1S325	Compósito com fibra de sisal com variação volumétrica de 3% com 25 mm de comprimento de fibra
M1S315	Compósito com fibra de sisal com variação volumétrica de 3% com 15 mm de comprimento de fibra
M1S225	Compósito com fibra de sisal com variação volumétrica de 2% com 25 mm de comprimento de fibra
M1C325	Compósito com fibra de coco com variação volumétrica de 3% com 25 mm de comprimento de fibra

M1C225	Compósito com fibra de coco com variação volumétrica de 2% com 25 mm de comprimento de fibra
CPN00-0%*	Argamassa plena com traço em peso 1:1:0,40
CPN00-0%	Argamassa plena com traço em peso 1:1:0,59
CPC15-3%	Compósito com fibra de curauá com variação volumétrica de 3% e com 15 mm de comprimento de fibra
CPC25-2%	Compósito com fibra de curauá com variação volumétrica de 2% e com 25 mm de comprimento de fibra
CPC25-3%	Compósito com fibra de curauá com variação volumétrica de 3% e com 25 mm de comprimento de fibra
CPC45-2%	Compósito com fibra de curauá com variação volumétrica de 2% com 45 mm de comprimento de fibra.
CPC45-3%	Compósito com fibra de curauá com variação volumétrica de 3% com 45 mm de comprimento de fibra.
CPS25-3%	Compósito com fibra de sisal com variação volumétrica de 3% com 25 mm de comprimento de fibra.
CPJ25-3%	Compósito com fibra de juta com variação volumétrica de 3% com 25 mm de comprimento de fibra.
CPJ45-3%	Compósito com fibra de juta com variação volumétrica de 3% com 45 mm de comprimento de fibra.
CPF25-3%	Compósito com fibra de fique com variação volumétrica de 3% com 25 mm de comprimento de fibra.