

**TECNOLOGIAS E MATERIAIS ALTERNATIVOS**  
*de construção*



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Reitor  
JOSÉ TADEU JORGE

Coordenador Geral da Universidade  
ALVARO PENTEADO CRÓSTA



Conselho Editorial

Presidente  
EDUARDO GUIMARÃES

ELINTON ADAMI CHAIM – ESDRAS RODRIGUES SILVA  
GUITA GRIN DEBERT – JULIO CESAR HADLER NETO  
LUIZ FRANCISCO DIAS – MARCO AURÉLIO CREMASCO  
RICARDO ANTUNES – SEDI HIRANO

Wesley Jorge Freire  
Antonio Ludovico Beraldo (coord.)

# TECNOLOGIAS E MATERIAIS ALTERNATIVOS

## *de construção*

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP  
DIRETORIA DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

---

F883t Freire, Wesley Jorge  
*Tecnologias e materiais alternativos de construção* / Wesley  
Jorge Freire, Antonio Ludovico Beraldo (coord.) – Campinas,  
SP: Editora da Unicamp, 2003.

1. Construções rurais. 2. Materiais de construção.  
I. Antonio Ludovico Beraldo. II. Título.

ISBN 978-85-268-0895-9 CDD 631.2  
691

---

Índices para catálogo sistemático:

1. Construções rurais	631.2
2. Materiais de construção	691

Copyright © by Jorge Wesley Freire  
Antonio Ludovico Beraldo

Copyright © 2003 by Editora da Unicamp

3ª reimpressão, 2015

Direitos reservados e protegidos pela Lei 9.610 de 19.2.1998.  
É proibida a reprodução total ou parcial sem autorização,  
por escrito, dos detentores dos direitos.

Printed in Brazil.  
Foi feito o depósito legal.

Direitos reservados à

Editora da Unicamp  
Rua Caio Graco Prado, 50 – Campus Unicamp  
CEP 13083-892 – Campinas – SP – Brasil  
Tel./Fax: (19) 3521-7718/7728  
www.editora.unicamp.br – vendas@editora.unicamp.br

Os coordenadores desta obra expressam seus agradecimentos à FAPESP —  
Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo — pelo suporte  
financeiro concedido. Os agradecimentos são também extensivos à Editora  
da UNICAMP pela publicação e distribuição deste livro.



# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	15
LISTA DE TABELAS .....	21
PREFÁCIO .....	23
1 — MATERIAIS ALTERNATIVOS DE CONSTRUÇÃO (Wesley Jorge Freire) .....	27
1. A PESQUISA COM MATERIAIS ALTERNATIVOS DE CONSTRUÇÃO .....	30
1.1 <i>Materiais alternativos obtidos com             bagaço de cana-de-açúcar</i> .....	31
1.2 <i>A terra como material de construção</i> .....	35
1.3 <i>Compósitos de fibrocimento na forma             de chapas onduladas</i> .....	39
1.4 <i>Entulho de construção e demolição</i> .....	41
1.5 <i>Resíduos da indústria coureiro-calçadista</i> .....	43
1.6 <i>Fibras artificiais usadas como reforço             de matrizes cimentantes</i> .....	44
1.7 <i>Outros materiais residuais</i> .....	47
2. CONCLUSÃO .....	49
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51
2 — TECNOLOGIAS APROPRIADAS EM CONSTRUÇÃO CIVIL (Alex Kenya Abiko) .....	55
1. TÉCNICA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA .....	55
2. TECNOLOGIA APROPRIADA .....	57
3. CARACTERÍSTICAS DAS TECNOLOGIAS APROPRIADAS .....	58

4. TECNOLOGIAS APROPRIADAS EM CONSTRUÇÃO CIVIL .....	59
5. POSSIBILIDADES DA TECNOLOGIA APROPRIADA EM CONSTRUÇÃO CIVIL.....	61
6. PRÓXIMOS PASSOS .....	63
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
3 — ARQUITETURA AGRÍCOLA DENTRO DO CONTEXTO DAS CONSTRUÇÕES RURAIS (André Munhoz de Argollo Ferrão) .....	65
1. O ESPAÇO DA PRODUÇÃO E A PRODUÇÃO DO ESPAÇO .....	66
1.1 <i>Técnica e arquitetura: a evolução de uma cadeia produtiva</i> ....	66
1.2 <i>Técnica e arquitetura: o espaço e a paisagem</i> .....	69
2. ARQUITETURA (RURAL E AGRÍCOLA) PARA O SISTEMA “CIDADE–CAMPO” .....	73
2.1 <i>A cadeia produtiva do café no estado de São Paulo, a partir de meados do século XIX, modifica a arquitetura das cidades e do campo</i> .....	75
2.2 <i>A arquitetura da produção: informação, ciência e tecnologia</i> .....	79
3. ARQUITETURA DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA .....	80
3.1 <i>Integração de sistemas: o complexo agroindustrial-comercial brasileiro e o complexo da construção civil</i> .....	80
3.2 <i>Arquitetura agrícola: integração do complexo da construção civil com o complexo agroindustrial-comercial brasileiro</i> .....	83
4. CONSTRUÇÕES RURAIS: UMA QUESTÃO DE ENGENHARIA E ARQUITETURA .....	85
4.1 <i>Arquitetura e educação como agentes de integração entre cidade e campo</i> .....	87
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	90
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	92
4 — SOLO-CIMENTO PARA FINS CONSTRUTIVOS (Marco Aurélio de Lima e Myrrha) .....	95
1. MODOS DE UTILIZAÇÃO .....	95
2. COMPONENTES DO SOLO-CIMENTO .....	97
2.1 <i>Cimento</i> .....	97
2.2 <i>Água</i> .....	99
2.3 <i>Solo</i> .....	99
3. PREPARO DO SOLO-CIMENTO .....	100
3.1 <i>Dosagem do solo-cimento</i> .....	100
3.2 <i>Mistura do solo-cimento</i> .....	101
3.3 <i>Mistura manual do solo-cimento</i> .....	101
3.4 <i>Lançamento, compactação e cura do solo-cimento</i> .....	103

3.4.1	<i>Tijolos ou blocos de solo-cimento</i> .....	103
3.4.2	<i>Paredes maciças de solo-cimento</i> .....	104
3.4.3	<i>Pavimento de solo-cimento</i> .....	111
3.4.4	<i>Solo-cimento ensacado</i> .....	115
4.	BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA .....	119
5 —	COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS VEGETAIS E SUAS APLICAÇÕES (Vahan Agopyan e Holmer Savastano Júnior) ....	121
1.	INTRODUÇÃO .....	121
1.1	<i>Breve histórico</i> .....	122
1.2	<i>Tendências atuais</i> .....	122
2.	FIBRAS VEGETAIS .....	123
2.1	<i>Caracterização das fibras</i> .....	123
2.2	<i>Disponibilidade de resíduos</i> .....	126
2.2.1	<i>Sisal</i> .....	126
2.2.2	<i>Piçava</i> .....	127
2.2.3	<i>Coco</i> .....	127
2.2.4	<i>Algodão e polpa de celulose de eucalipto</i> .....	128
2.2.5	<i>Rami</i> .....	128
2.2.6	<i>Banana</i> .....	128
2.2.7	<i>Malva</i> .....	128
3.	ANÁLISE MICROESTRUTURAL .....	128
3.1	<i>Zona de transição fibra–matriz</i> .....	130
4.	DESEMPENHO MECÂNICO DOS COMPÓSITOS .....	131
5.	DURABILIDADE DE COMPÓSITOS COM FIBRAS VEGETAIS .....	133
5.1	<i>Ataque alcalino às fibras</i> .....	133
5.2	<i>Incompatibilidade física</i> .....	134
5.3	<i>Avaliação da durabilidade</i> .....	134
6.	PRODUÇÃO DE COMPONENTES E SISTEMAS CONSTRUTIVOS .....	136
6.1	<i>Pesquisas desenvolvidas pelo CEPED</i> .....	137
6.2	<i>Experiência do IPT/IDRC</i> .....	138
6.2.1	<i>Produção</i> .....	139
6.2.2	<i>Propriedades</i> .....	139
6.2.3	<i>Protótipo</i> .....	140
6.2.4	<i>Análise de custo</i> .....	141
7.	COMENTÁRIOS FINAIS .....	142
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	142
6 —	CINZAS E AGLOMERANTES ALTERNATIVOS (Vanderley Moacir John, Maria Alba Cincotto e Maristela Gomes da Silva) .....	145
1.	RESÍDUOS COMO AGLOMERANTES .....	145
2.	AGLOMERANTES HIDRÁULICOS .....	146
2.1	<i>A hidratação</i> .....	146
2.2	<i>Características dos aglomerantes</i> .....	147

3. TIPOS DE AGLOMERANTES .....	149
4. POZOLANAS .....	150
5. PRODUÇÃO DE CIMENTOS COM BASE EM POZOLANAS .....	151
6. AVALIAÇÃO DA POZOLANICIDADE .....	151
6.1 <i>Análise química</i> .....	151
6.2 <i>Teor de vidro</i> .....	152
6.3 <i>Finura</i> .....	153
6.4 <i>Método Chapelle</i> .....	154
6.5 <i>Resistência mecânica</i> .....	154
6.6 <i>Consumo de CH</i> .....	155
6.7 <i>Formação de C-S-H</i> .....	156
6.8 <i>Liberação de calor</i> .....	156
6.9 <i>Efeito físico das pozolanas</i> .....	156
7. CINZA VOLANTE DE CARVÃO MINERAL .....	156
7.1 <i>Ativação de cinzas volantes com clínquer Portland</i> .....	157
7.2 <i>Ativação de cinzas volantes com cal hidratada</i> .....	160
8. CINZAS VEGETAIS .....	161
8.1 <i>Cinza de bagaço de cana-de-açúcar</i> .....	163
8.2 <i>Cinza de casca de arroz</i> .....	164
8.3 <i>Cimentos de cinza de casca de arroz e cimento Portland...</i>	165
8.4 <i>Cimentos de cinza de casca de arroz e cal</i> .....	167
9. ESCÓRIA GRANULADA DE ALTO-FORNO .....	167
10. REATIVIDADE DAS ESCÓRIAS VÍTREAS .....	169
10.1 <i>Composição química da fração vítrea</i> .....	169
10.2 <i>Módulos de hidraulicidade</i> .....	169
10.3 <i>Índice de refração</i> .....	170
10.4 <i>Teor de vidro</i> .....	171
10.5 <i>Finura</i> .....	172
10.6 <i>Teste de Michelsen</i> .....	172
10.7 <i>Resistência mecânica</i> .....	174
10.8 <i>Escórias ácidas</i> .....	175
11. PRODUÇÃO DE CIMENTOS DE ESCÓRIA: A ATIVAÇÃO	
DA ESCÓRIA .....	175
11.1 <i>Escória ativada com cal hidratada</i> .....	176
11.2 <i>Escória ativada com cal e gipsita</i> .....	178
11.3 <i>Escória ativada com soda cáustica, silicatos de sódio e cal</i> .....	180
11.4 <i>Escória ativada com cimento Portland</i> .....	184
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	187

7 — AGREGADOS LEVES E CONCRETOS ALTERNATIVOS (Francisco de Assis Souza Dantas) .....	191
1. INTRODUÇÃO .....	191
2. CONCRETOS COM FIBRAS .....	193

3. CONCRETOS LEVES .....	193
3.1 <i>Tipos de concreto leve</i> .....	195
3.1.1 <i>Concretos leves aerado, celular, espumoso ou gasoso</i> ....	196
3.1.2 <i>Concretos leves sem finos</i> .....	197
3.1.3 <i>Concretos com agregados leves</i> .....	197
4. DOSAGEM DE CONCRETOS COM AGREGADOS LEVES .....	199
5. CONTROLE TECNOLÓGICO DE CONCRETOS COM AGREGADOS LEVES .....	204
5.1 <i>Cimentos existentes no Brasil</i> .....	205
5.2 <i>Controle de agregados</i> .....	207
5.3 <i>Água de amassamento</i> .....	207
5.4 <i>Aditivos</i> .....	208
5.5 <i>Ensaio de controle</i> .....	210
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	210

## 8 — ARGAMASSA ARMADA: TECNOLOGIA E APLICAÇÕES NO

MEIO RURAL (Adriano Wagner Ballarin) .....	213
1. INTRODUÇÃO .....	214
1.1 <i>Breve discussão conceitual</i> .....	214
1.2 <i>Histórico e desenvolvimento</i> .....	216
2. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO MATERIAL .....	219
2.1 <i>Argamassa</i> .....	219
2.1.1 <i>Cimento</i> .....	219
2.1.2 <i>Agregado miúdo</i> .....	221
2.1.3 <i>Água</i> .....	222
2.1.4 <i>Dosagem</i> .....	222
2.1.5 <i>Traço de referência</i> .....	223
2.1.6 <i>Traço otimizado</i> .....	224
2.2 <i>Armaduras</i> .....	225
2.2.1 <i>Armadura difusa</i> .....	225
2.2.2 <i>Armadura discreta ou armadura complementar</i> .....	229
3. TÉCNICAS DE EXECUÇÃO .....	229
3.1 <i>Conformações</i> .....	230
3.1.1 <i>Sem uso de formas</i> .....	230
3.1.2 <i>Com uso de formas</i> .....	230
3.2 <i>Preparo e montagem das armaduras</i> .....	234
3.2.1 <i>Preparo</i> .....	234
3.2.2 <i>Montagem</i> .....	235
3.2.3 <i>Manutenção do cobrimento da armadura</i> .....	235
3.2.4 <i>Limpeza da forma e aplicação de desmoldante</i> .....	236
3.3 <i>Argamassagem</i> .....	236
3.3.1 <i>Proporcionamento dos materiais</i> .....	236
3.3.2 <i>Mistura dos materiais</i> .....	237

3.3.3	<i>Aplicação da argamassa</i> .....	238
3.3.4	<i>Adensamento</i> .....	238
3.4	<i>Cura</i> .....	239
3.5	<i>Conformações pós-moldagem</i> .....	240
3.6	<i>Acabamento superficial</i> .....	241
4.	A ARGAMASSA ARMADA NO MEIO RURAL .....	241
4.1	<i>Edificações em geral</i> .....	242
4.2	<i>Habitações</i> .....	242
4.3	<i>Reservatórios e silos</i> .....	243
4.4	<i>Galpões</i> .....	245
4.5	<i>Pontilhões</i> .....	245
4.6	<i>Revestimento de canais</i> .....	246
4.7	<i>Mobiliário rural</i> .....	247
5.	APROPRIAÇÃO DE CUSTOS .....	247
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	251
9 —	BAMBU: CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES (Antonio Ludovico Beraldo, Anísio Azzini, Khosrow Ghavami e Marco Antonio dos Reis Pereira) .....	253
1.	O BAMBU .....	253
1.1	<i>Produtividade do bambu</i> .....	255
1.2	<i>Florescimento do bambu</i> .....	255
1.3	<i>Cultura do bambu</i> .....	256
1.4	<i>Anatomia do bambu</i> .....	260
1.5	<i>Características anatômicas, físicas e químicas</i> .....	262
1.6	<i>Colheita e secagem do bambu</i> .....	265
1.7	<i>Propriedades gerais do bambu</i> .....	265
1.8	<i>Propriedades físicas do bambu</i> .....	267
1.8.1	<i>Umidade do bambu</i> .....	267
1.8.2	<i>Variações dimensionais do bambu</i> .....	268
1.8.3	<i>Massa específica aparente do bambu</i> .....	269
1.9	<i>Constituição química do bambu</i> .....	269
1.10	<i>Propriedades mecânicas do bambu</i> .....	270
1.10.1	<i>Compressão paralela às fibras do bambu</i> .....	272
1.10.2	<i>Tração paralela às fibras do bambu</i> .....	273
1.10.3	<i>Flexão estática do bambu</i> .....	275
2.	UTILIZAÇÃO INDUSTRIAL DO BAMBU .....	276
2.1	<i>Celulose para papel</i> .....	277
2.1.1	<i>Um exemplo de utilização industrial do bambu para produção de celulose e papel</i> .....	278
2.2	<i>Celulose para papel e amido</i> .....	279
2.3	<i>Broto de bambu como alimento</i> .....	279

2.4	<i>Carvão</i> .....	282
2.4.1	<i>Características tecnológicas do carvão de bambu</i> .....	282
2.5	<i>Laminados</i> .....	283
2.6	<i>Escolha das espécies de bambu</i> .....	284
3.	UTILIZAÇÃO DO BAMBU COMO CONDUTOR DE ÁGUA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO PRESSURIZADA .....	284
3.1	<i>Confecção dos tubos para condução de água</i> .....	285
3.2	<i>Remoção dos diafragmas</i> .....	285
3.3	<i>Instalações de aspersores nos tubos de bambu</i> .....	287
3.4	<i>União dos tubos de bambu</i> .....	288
3.4.1	<i>Unões com luvas de borracha</i> .....	288
3.4.2	<i>Unões com luvas de bambu</i> .....	288
3.4.3	<i>União com encaixe direto</i> .....	288
3.4.4	<i>União com luvas de PVC</i> .....	288
3.5	<i>Tampão final</i> .....	289
4.	ARMAZENAMENTO E DURABILIDADE DOS TUBOS DE BAMBU .....	289
5.	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DOS TUBOS DE BAMBU .....	290
5.1	<i>Perda de carga</i> .....	290
5.2	<i>Pressão de ruptura dos tubos de bambu</i> .....	292
5.3	<i>Pressão de vazamento em uniões de borracha</i> .....	292
6.	MONTAGEM E FUNCIONAMENTO DE UM PEQUENO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL .....	293
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	295
10 —	CONCRETO REFORÇADO COM BAMBU (Khosrow Ghavami) .....	301
1.	ABSORÇÃO DE ÁGUA PELO BAMBU .....	301
2.	TESTE DE ARRANCAMENTO ( <i>PULLOUT TEST</i> ) .....	303
3.	VIGAS DE CONCRETO REFORÇADAS COM BAMBU .....	305
3.1	<i>Detalhes do ensaio das vigas</i> .....	306
3.2	<i>Instrumentação e procedimento dos testes</i> .....	308
4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	309
5.	LAJES DE CONCRETO EM FORMA PERMANENTE DE BAMBU .....	312
6.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	315
6.1	<i>Relação momento–deformação do concreto</i> .....	317
6.2	<i>Relação momento–deformação do bambu</i> .....	318
6.3	<i>Comportamento das lajes na ruptura</i> .....	319
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	319
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	320
	ANEXO A .....	321
	ANEXO B .....	327
	NOTAS .....	331



# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Tijolo e bloco de solo-cimento .....	96
Figura 2 — Paredes maciças de solo-cimento .....	96
Figura 3 — Solo-cimento ensacado .....	96
Figura 4 — Armazenamento de sacos de cimento .....	98
Figura 5 — Teste da caixa: definição do teor de umidade adequado .....	99
Figura 6 — Teste da caixa: moldagem da amostra .....	100
Figura 7 — Teste da caixa: medição da retração do solo .....	100
Figura 8 — Dosagem volumétrica padrão do solo-cimento para obras de pequeno porte .....	101
Figura 9 — Mistura manual do solo-cimento .....	101
Figura 10 — Determinação manual da umidade ótima .....	102
Figura 11 — Verificação da quantidade correta de água .....	102
Figura 12 — Prensa manual de fabricação de tijolos de solo-cimento ....	103
Figura 13 — Fixação das formas no local de compactação .....	104
Figura 14 — Guia recuperável de madeira .....	105
Figura 15 — Execução do rebaixo na extremidade dos painéis .....	105
Figura 16 — Forma para moldagem de guias de concreto .....	106
Figura 17 — Armadura de guias de concreto .....	106
Figura 18 — Soquetes de madeira para compactação de solo-cimento .....	106
Figura 19 — Compactação do solo-cimento nas valas de fundação .....	107
Figura 20 — Assentamento de guias fixas de concreto .....	107
Figura 21 — Esquema do sistema construtivo com guia recuperável de madeira .....	108
Figura 22 — Esquema do sistema construtivo com guia fixa de concreto .....	108
Figura 23 — Montagem de formas sem o auxílio de espaçadores .....	108
Figura 24 — Montagem correta das formas com o auxílio de espaçadores .....	108

Figura 25 — Fases de execução de paredes monolíticas de solo-cimento com guias recuperáveis de madeira .....	109
Figura 26 — Fases de execução de paredes monolíticas de solo-cimento com guias fixas de concreto .....	109
Figura 27 — Erguimento de parede utilizando dois conjuntos de formas ...	110
Figura 28 — Detalhe da fixação de esquadria de madeira .....	110
Figura 29 — Locação e regularização da área que receberá a construção ....	111
Figura 30 — Pavimento sobreposto ou encaixado no terreno .....	112
Figura 31 — Guia auxiliar usada na execução de pavimentos de solo-cimento .....	112
Figura 32 — Execução de faixas alternadas de pavimentos de solo-cimento .....	113
Figura 33 — Bordas da cava do pavimento sendo usadas como formas .....	113
Figura 34 — Soquetes usados na compactação de fundações de solo-cimento .....	114
Figura 35 — Nivelamento superficial da mistura fofa de solo-cimento com régua de madeira .....	114
Figura 36 — Compactação com soquetes de ponta e liso .....	114
Figura 37 — Remoção das formas de madeira .....	115
Figura 38 — Cura do pavimento de solo-cimento recém-construído .	115
Figura 39 — Soquetes para compactação do solo-cimento ensacado ..	116
Figura 40 — Base de muro de arrimo construída com solo-cimento ensacado .....	116
Figura 41 — Preenchimento de sacos com solo-cimento .....	117
Figura 42 — Disposição dos sacos em fiadas .....	117
Figura 43 — Compactação do solo-cimento ensacado .....	117
Figura 44 — Instalação de drenos no muro de solo-cimento .....	118
Figura 45 — Construção de diques com solo-cimento ensacado .....	119
Figura 46 — Bucha verde de campo do sisal .....	129
Figura 47 — Bucha de máquina da produção de fio agrícola ( <i>baler twine</i> ) ..	130
Figura 48 — Fibrinhas do pó residual de coco .....	130
Figura 49 — Rejeito de celulose de eucalipto .....	130
Figura 50 — Compósito com fibras de sisal ( $x = 0,38$ , aos 180 dias) ..	131
Figura 51 — Energia específica do compósito em diversas idades (ensaio de tração na flexão; $x = 0,38$ ; intervalo de confiança = 95%) .....	132
Figura 52 — Resistência à tração do compósito com várias relações água-cimento (ensaio de tração direta; idade = 28 dias; intervalo de confiança = 95%) .....	132
Figura 53 — Comparação entre ensaio acelerado (QCT) e envelhecimento natural .....	135
Figura 54 — Moldagem das telhas de argamassa de cimento Portland reforçada com fibras de coco .....	138

Figura 55 — Vista do protótipo construído em Vila Nova Cachoeirinha, São Paulo, Brasil .....	140
Figura 56 — Difração de raios X de cinza volante do Pólo Petroquímico de Triunfo (RS), mostrando o halo vítreo com picos sobrepostos .....	152
Figura 57 — Efeito da adição de cinza volante no teor de hidróxido de cálcio livre para duas relações água-aglomerantes e idades .....	158
Figura 58 — Influência do teor de cinza volante na resistência à compressão, para duas relações água-aglomerantes total .....	159
Figura 59 — Influência do teor de cinza volante em misturas de cal hidratada: cinzas na resistência à compressão de argamassas com traço 1:3 e consistência de 165 mm ± 5 mm e fator água-aglomerante variando entre 0,58 (para 50% de cinzas) e 0,52 (para 90% de cinzas) .....	160
Figura 60 — Influência do teor de cinza de bagaço de cana-de-açúcar na resistência à compressão de argamassas de cinza:cimento Portland, com trabalhabilidade constante .....	163
Figura 61 — Influência da cinza de casca de arroz no consumo de água para mesma consistência de 150 mm para argamassas 1:1,5 [(cimento:cinza):agregado], reforçada com 1,5% de fibra de coco .....	165
Figura 62 — Influência da adição de cinza volante em concretos com duas relações água-cimento, com a mesma consistência por adição de aditivos superplastificantes .....	166
Figura 63 — Influência do teor de cinza de casca de arroz na resistência compressão de argamassas. Traço 1:2,75:0,5, com consistência corrigida pela adição de plastificantes .....	166
Figura 64 — Correlação entre a relação C-S e a resistência à compressão de cimentos contendo 60% de escória e cimento Portland .....	170
Figura 65 — Correlações entre o índice de refração e a resistência à compressão, aos 7 e 90 dias, de cimentos com escória (60% de escória, 40% de cimento Portland); Blaine: 406 ± 7 m <sup>2</sup> /kg .....	171
Figura 66 — Difração de raios X de escória granulada da CST .....	172
Figura 67 — Influência da finura na resistência à compressão de argamassa de escória de alto-forno da COSIPA, preparada com água saturada de cal .....	172
Figura 68 — Correlação entre o teste de Michelsen e a resistência à compressão de cimentos com escória (60% de escória, 40% de cimento Portland) .....	173
Figura 69 — Correlação entre o resultado do teste de Michelsen e a basicidade das escórias brasileiras .....	173
Figura 70 — Correlação entre os resultados do ensaio acelerado de Féret e a resistência à compressão de cimentos com escória (60% de escória, 40% de cimento Portland) com o resultado do teste de Michelsen .....	174

Figura 71 — Influência do teor de cal hidratada na resistência à compressão da escória da COSIPA .....	177
Figura 72 — Calor de hidratação acumulado liberado por cimento de escória ativada com 5% de cal hidratada e cimento Portland. Ensaio realizado com garrafa de Langavant .....	178
Figura 73 — Influência do teor de cal hidratada na resistência à compressão de compósitos traço 1:1:0,409 (aglomerante:agregado:água), com teor constante de gipsita de 10%, corpos-de-prova de 4 x 4 x 16 cm <sup>3</sup> , previamente rompidos à flexão .....	179
Figura 74 — Influência do teor de gipsita na resistência à compressão e teor de CaO livre, mantido constante o teor de cal hidratada em 5% .....	179
Figura 75 — Influência do teor de sílica e de hidróxido de cálcio na resistência de cimentos contendo 5% de Na <sub>2</sub> O. Escória produzida pela COSIPA, com finura Blaine 598 m <sup>2</sup> /kg, relação água–cimento 0,48 e traço 1:3 (aglomerante:areia normal brasileira) .....	181
Figura 76 — Influência do teor de cal na consistência medida pela mesa de consistência aos 5 e 30 minutos após a conclusão da mistura .....	182
Figura 77 — Influência do teor de SiO <sub>2</sub> no teor de água não evaporável e na resistência mecânica .....	182
Figura 78 — Porosidade de pastas de cimento de escória ativada com silicatos de sódio e cimento Portland, medida por intrusão de mercúrio (à direita), e correlação entre resistência à compressão aos 28 dias e porosidade para diferentes cimentos (à esquerda) .....	183
Figura 79 — Influência do teor de SiO <sub>2</sub> na cristalinidade de pastas de cimento de escória ativada com silicatos de sódio hidratadas por 28 dias .....	184
Figura 80 — Influência do teor de escória proveniente da COSIPA, moída à finura Blaine 600 m <sup>2</sup> /g, na resistência à compressão em diferentes idades .....	185
Figura 81 — Influência do teor de escória no calor de hidratação .....	186
Figura 82 — Influência do teor de escória e da temperatura de cura em misturas de escória (COSIPA, 500 m <sup>2</sup> /kg) e cimento Portland comum em argamassas de traço 1:3:0,48 .....	187
Figura 83 — Representação esquemática do efeito de obstaculização na propagação da microfissuração, desempenhado pelo reforço em uma matriz .....	215
Figura 84 — Limites granulométricos de areia média, expressos em termos de porcentagens retidas acumuladas .....	221
Figura 85 — Diagrama da variação da proporção cimento:areia relativamente à relação água–cimento da argamassa, para uma mesma consistência pré-fixada .....	225

Figura 86 — Tela tecida de malha hexagonal .....	226
Figura 87 — Tela tecida de malha quadrada — “tela de peneira” .....	227
Figura 88 — Tela soldada.....	228
Figura 89 — Forma para produção de casco de embarcação de argamassa armada. Detalhe do esticamento e fixação de plástico grosso sobre ripamento de madeira, que dá a conformação geral do casco, disposto de cabeça para baixo .....	233
Figura 90 — Esquemas de formas de alvenaria .....	233
Figura 91 — Compactação da areia com soquetes .....	236
Figura 92 — Seqüência de produção de uma viga em “V”, através da conformação pós-moldagem parcial.....	240
Figura 93 — Sistema construtivo para escolas, creches e outros equipamentos comunitários .....	242
Figura 94 — Protótipo de habitação, com componentes de fechamento em argamassa armada .....	243
Figura 95 — Esquema de reservatório enterrado, executado <i>in loco</i> , onde a argamassa armada atua como camada de revestimento e impermeabilização do talude escavado .....	243
Figura 96 — Silo em argamassa armada, projeto original do CEPED .....	244
Figura 97 — Galpão em estrutura metálica com fechamento em elementos leves de argamassa armada .....	245
Figura 98 — Pontilhão rodoviário para estradas vicinais.....	246
Figura 99 — Revestimento de canais com elementos pré-moldados de argamassa armada .....	246
Figura 100 — Divisória de argamassa armada .....	248
Figura 101 — Seção longitudinal de um colmo de bambu. Tipos de rizomas de bambus .....	256
Figura 102 — Moita de <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....	258
Figura 103 — Microestrutura da seção transversal do bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....	261
Figura 104 — Corte transversal de um colmo de <i>Phyllostachys</i> <i>viridis</i> .....	261
Figura 105 — Fotografias de lâminas microscópicas de duas espécies de bambu: <i>Phyllostachys purpuratta</i> (esquerda) e <i>Dendrocalamus</i> <i>giganteus</i> (direita) .....	262
Figura 106 — Ferramenta manual — impacto .....	286
Figura 107 — Ferramenta giratória .....	286
Figura 108 — Seqüência para instalação dos aspersores nos tubos de bambu .....	287
Figura 109 — Uniões: a) luva de borracha; b) luva de bambu; c) encaixe direto.....	289
Figura 110 — Curvas finais <i>f x Re</i> para tubos de bambu e PVC .....	291
Figura 111 — Pressão de ruptura em tubos de bambu .....	292
Figura 112 — Pressão de vazamento em uniões de borracha .....	293
Figura 113 — Esquema de sistema de irrigação por aspersão convencional .....	294

Figura 114 — Linha lateral de bambu enterrada em funcionamento ..	294
Figura 115 — Interação entre uma talisca de bambu e o concreto .....	302
Figura 116 — Capacidade de absorção de água por algumas espécies de bambu .....	302
Figura 117 — Distribuição das tensões de aderência no ensaio de arrancamento .....	304
Figura 118 — Ensaio de arrancamento ( <i>pullout test</i> ) .....	305
Figura 119 — Dimensões das vigas e detalhes dos reforços .....	306
Figura 120 — Detalhe das vigas de concreto laterítico reforçadas com bambu .....	307
Figura 121 — Detalhes da viga reforçada com $\rho = 3,3\%$ de bambu, antes da concretagem .....	308
Figura 122 — Viga simplesmente apoiada sujeita a duas cargas concentradas .....	309
Figura 123 — Curvas carga–deflexão/carga–deslocamento .....	309
Figura 124 — Curva carga–deformação para cada camada de bambu...	310
Figura 125 — Configuração das fissuras após o carregamento .....	311
Figura 126 — Laje de concreto em forma permanente de bambu .....	312
Figura 127 — Detalhes das lajes de concreto em forma permanente de bambu .....	313
Figura 128 — Dimensões de laje de concreto em forma permanente de bambu .....	313
Figura 129 — Vistas superior e inferior do bambu como forma permanente de laje, antes da concretagem .....	314
Figura 130 — Curva experimental de carga–flecha no meio do vão das lajes .....	315
Figura 131 — Curvas momento–deformação do concreto .....	316
Figura 132 — Curvas momento–deformação do bambu .....	317
Figura 133 — Corpos-de-prova para verificação dos esforços de cisalhamento no diafragma .....	318
Figura 134 — Distribuição de tensões .....	319
Figura 135 — Módulo de elasticidade <i>versus</i> densidade .....	330