

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA INCORPORAÇÃO  
DE RESÍDUOS DE CONTRAFORTES DE  
CALÇADOS EM MATRIZ DE GESSO PARA USO  
COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

**ANDREA PARISI KERN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC,  
como parte dos requisitos para a obtenção do título de *Mestre em Engenharia*.

Área de Concentração: Construção Civil

Porto Alegre  
1999

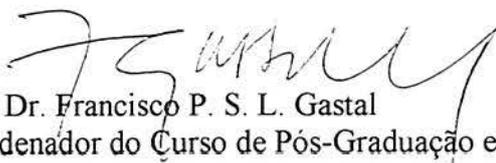
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de *Mestre em Engenharia* e aprovada em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação.



Prof. Dr. Hélio Adão Greven  
Professor Orientador



Claudio de Souza Kazmierczak  
Professor Co-orientador



Prof. Dr. Francisco P. S. L. Gastal  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil

#### Banca Examinadora

- Hélio Adão Greven (orientador)  
Dr. Ing. pela Universidade de Hannover, Alemanha
- Claudio de Souza Kazmierczak  
Dr. pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- Sílvia M. de Souza Selmo  
Dr. pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- Denise Coitinho Carpena Dal Molin  
Dr. pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- Nilo Cesar Consoli  
PhD pela Concordia University, Canadá

Não herdamos  
a terra  
de nossos pais,  
mas a tomamos  
de empréstimo  
de nossos filhos.  
Lester Brown

Aos meus pais, Paulo e Marilea  
Ao meu irmão, Henrique  
Ao Manfred

## AGRADECIMENTO

Meu sincero agradecimento a todos aqueles que de alguma forma possam ter contribuído para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Hélio Greven pela orientação e incentivo sempre presentes.

Ao Prof. Claudio S. Kazmierczak, pela orientação e confiança essenciais para que este trabalho se tornasse realidade. Agradeço de forma muito especial, a amizade demonstrada há anos, sempre me incentivando a crescer como pesquisadora.

Aos professores da UNISINOS, Heitor da Costa e Silva, Ivana S. dos Santos, Marcus Vinícius Ramires, José Leonardo Andriotti e Márcia da Silva, cuja amizade e orientações prestadas enriqueceram o desenvolvimento deste trabalho.

Aos alunos bolsistas Alexsandra Kanitz, Cristiane Pauletti, Emília Bagesteiro e Ricardo Boff, que contribuíram significativamente para o sucesso deste trabalho, com ajuda essencial na moldagem dos corpos-de-prova e realização dos ensaios mecânicos. Agradeço o companheirismo e amizade, tornando ainda mais agradável a realização da parte experimental.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, Angela Masuero, Carlos Formoso, Denise Dal Molin, Miguel Sattler e Ronaldo Duarte, pelos ensinamentos que tanto enriqueceram meus conhecimentos. Agradeço a atenção e disponibilidade sempre constantes.

Aos colegas "*norianos*", agradeço a convivência agradável durante estes dois anos. Em especial aos meus colegas de turma Alessandra, Antônio Eduardo, Claudia, Daniel, Graziella, Jô, Martha, Mônica, Patrícia, Renato, Ricardo, Rose e Thais.

Aos meus pais, principais responsáveis pela minha formação, reconheço e sou muito grata pelo apoio, carinho e confiança. Agradeço meu pai, em especial, pela preciosa orientação na redação da dissertação.

À UNISINOS, pelo apoio e pela oportunidade de desenvolver os ensaios mecânicos nessa Universidade.

Às empresas Artecola, Boxflex, Classil, e Rhodia, e Centro Tecnológico por desencadearem o projeto de pesquisa que originou este trabalho.

À FINEP, pelo suporte financeiro concedido ao longo de todas as fases do projeto.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>X</b>
<b>LISTAS DE TABELAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTAS DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>XV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XVI</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	01
1.2 JUSTIFICATIVA.....	02
1.3 OBJETIVOS.....	03
1.4 HIPÓTESES.....	04
1.5 LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	04
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	04
<b>2. USO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....</b>	<b>06</b>
2.1 O PROBLEMA AMBIENTAL.....	06
2.2 RESÍDUOS INDUSTRIAIS.....	08
2.2.1 Classificação dos resíduos.....	08
2.2.2 Destino final de resíduos.....	09
2.3 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E A RECICLAGEM DE RESÍDUOS	11
2.4 PESQUISA EM RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	13
<b>3. CONTRAFORTES DE CALÇADOS.....</b>	<b>22</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	22
3.2 CONTRAFORTE DE CALÇADO.....	22
3.3 TIPOS DE CONTRAFORTES.....	23
3.4 CONTRAFORTES TERMOPLÁSTICOS.....	24
3.4.1 Materiais Constituintes.....	25
3.4.1.1 Resinas de impregnação.....	25
3.4.1.2 Materiais de estruturação.....	26
3.4.1.2.1 Material de estruturação “não-tecido”.....	26
3.4.1.2.2 Material de estruturação “tecido”.....	28
3.5 OBTENÇÃO DAS PEÇAS DE CONTRAFORTE E GERAÇÃO DE RESÍDUOS	29
<b>4. MATERIAIS REFORÇADOS COM FIBRAS.....</b>	<b>32</b>
4.1 O USO DE FIBRAS PARA REFORÇO DE MATRIZES FRÁGEIS.....	32
4.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS FIBROSOS.....	33

4.2.1	Produção de materiais fibrosos.....	34
4.2.2	Aderência fibra-matriz.....	35
4.2.3	Comportamento dos compósitos fibrosos.....	36
4.3	PRINCIPAIS TIPOS DE FIBRAS UTILIZADAS EM MATRIZES DE CONSTRUÇÃO.....	39
4.4	FIBROGESSO.....	40
<b>5.</b>	<b>MATERIAIS - SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO.....</b>	<b>43</b>
5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	43
5.2	GESSO.....	44
5.2.1	Seleção do gesso.....	44
5.2.2	Análise química do gesso selecionado.....	45
5.3	RESÍDUOS DE CONTRAFORTES.....	46
5.3.1	Avaliação quantitativa da geração de resíduos.....	46
5.3.2	Determinação do nível de periculosidade dos resíduos.....	47
5.3.3	Caracterização da microestrutura.....	49
5.3.4	Caracterização física dos resíduos.....	51
5.3.4.1	Resistência à tração.....	51
5.3.4.2	Absorção de água.....	54
5.3.5	Biodeterioração.....	56
5.3.5.1	Análise da biodeterioração por microscópio eletrônico de varredura.....	58
5.3.5.2	Fungicidas.....	59
5.4	ÁGUA.....	60
<b>6.</b>	<b>MOLDAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO.....</b>	<b>61</b>
6.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	61
6.2	ANÁLISE DO COMPÓSITO NO ESTADO FRESCO.....	61
6.3	ANÁLISE DO COMPÓSITO NO ESTADO ENDURECIDO.....	62
6.3.1	Resistência à compressão.....	63
6.3.1.1	Desenvolvimento do ensaio.....	63
6.3.1.2	Resultados obtidos.....	64
6.3.1.3	Análise dos resultados.....	65
6.3.2	Resistência ao impacto.....	68
6.3.2.1	Desenvolvimento do ensaio.....	68
6.3.2.2	Resultados obtidos.....	73
6.3.2.3	Análise dos resultados.....	76
6.3.3	Resistência à tração na flexão.....	78
6.3.3.1	Desenvolvimento do ensaio.....	78
6.3.3.2	Resultados obtidos.....	79
6.3.3.3	Análise dos resultados.....	80
6.4	ASPECTOS RELACIONADOS À DURABILIDADE DO COMPÓSITO.....	82

6.4.1 Análise da interação entre os materiais constituintes.....	82
6.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	84
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>85</b>
7.2 CONCLUSÕES.....	85
7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	87
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO A</b> Resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos materiais.....	98
<b>ANEXO B</b> Relatórios sobre biodeterioração dos contrafortes e uso de fungicidas.....	106

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 3

FIGURA 3.1	Representação de material não tecido.....	27
FIGURA 3.2	Representação de material tecido.....	28
FIGURA 3.3	Placa de contraforte termoplástico impregnado.....	30
FIGURA 3.4	Navalhas para corte das peças de contraforte.....	30
FIGURA 3.5	Operação de corte das peças de contraforte em balancim manual.....	31
FIGURA 3.6	Vista em detalhe das peças de contraforte.....	31
FIGURA 3.7	Resíduo das placas de contraforte gerado na operação de corte das Peças.....	31
FIGURA 3.8	Aterro de resíduos industriais localizado na Região do Vale do Sinos.....	31

### CAPÍTULO 4

FIGURA 4.1	Representação do efeito das fibras na fissuração da matriz frágil.....	37
FIGURA 4.2	Etapas do processamento do gesso de construção.....	40

### CAPÍTULO 5

FIGURA 5.1	Contraforte Termoplástico Impregnado. Aumento 35 vezes.....	50
FIGURA 5.2	Contraforte Termoplástico Laminado. Aumento 35 vezes.....	50
FIGURA 5.3	Contraforte Termoplástico Impregnado moído. Aumento 35 vezes.....	50
FIGURA 5.4	Contraforte Termoplástico Laminado moído. Aumento 35 vezes.....	50
FIGURA 5.5	Sentido de corte dos corpos-de-prova nas placas de contrafortes para a realização do ensaio de resistência à tração.....	52
FIGURA 5.6	Gráfico do percentual de absorção de água dos resíduos.....	55
FIGURA 5.7	Contraforte Termoplástico Impregnado com contaminação de fungo Aumento 200 vezes.....	58
FIGURA 5.7	Contraforte Termoplástico Impregnado com contaminação de fungo. Aumento 2000 vezes.....	58

### CAPÍTULO 6

FIGURA 6.1	Corpos-de-prova moldados para a realização de ensaios mecânicos.....	63
FIGURA 6.2	Resistência à compressão média das séries de corpos-de- prova com diferentes teores de adição de resíduos .....	65
FIGURA 6.3	Resistência à compressão média das séries de corpos-de- prova com diferentes relações água/gesso.....	65
FIGURA 6.4	Equipamento utilizado para a realização do ensaio de impacto.....	69
FIGURA 6.5	Equipamento utilizado para a realização do ensaio de impacto.....	69
FIGURA 6.6	Resistência ao impacto do conjunto de corpos-de-prova com adição de resíduos de contraforte impregnado com MF=4,3.....	71

FIGURA 6.7	Resistência ao impacto do conjunto de corpos-de-prova com adição de resíduos de contraforte impregnado com MF= 5,9.....	71
FIGURA 6.8	Resistência ao impacto do conjunto de corpos-de-prova com adição de resíduos de contraforte laminado com MF= 4,3.....	71
FIGURA 6.9	Resistência ao impacto do conjunto de corpos-de-prova com adição de resíduos de contraforte laminado com MF= 5,9.....	71
FIGURA 6.10a	Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição de 20% e 25% de resíduos.....	73
FIGURA 6.10b	Representação da energia na qual ocorre fissura e energia acumulada no final do ensaio.....	73
FIGURA 6.11a	Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição de 20% de resíduos CTI, variando-se a relação a/g.....	74
FIGURA 6.11b	Representação da energia na qual ocorre fissura e energia acumulada no final do ensaio.....	74
FIGURA 6.12a	Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição de 20% de resíduos CTL, variando-se a relação a/g.....	74
FIGURA 6.12b	Representação da energia na qual ocorre fissura e energia acumulada no final do ensaio.....	74
FIGURA 6.13a	Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição mista de resíduos, em teor de 20%.....	75
FIGURA 6.13b	Representação da energia na qual ocorre fissura e energia acumulada no final do ensaio.....	75
FIGURA 6.14a	Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição mista de resíduos, em teor de 25%.....	75
FIGURA 6.14b	Representação da energia na qual ocorre fissura e energia acumulada no final do ensaio.....	75
FIGURA 6.15	Equipamento utilizado para a realização do ensaio de resistência à tração na flexão.....	78
FIGURA 6.16	Corpos-de-prova antes e após a realização do ensaio.....	78
FIGURA 6.17	Resistência média à tração na flexão das séries de corpos-de-prova com adição de 20% e 25% de resíduos.....	79
FIGURA 6.18	Resistência média à tração na flexão das séries de corpos-de-prova com adição de 20% de resíduos de CTI, variando-se a relação a/g.....	79
FIGURA 6.19	Resistência média à tração na flexão das séries de corpos-de-prova com adição de 20% de resíduos de CTI, variando-se a relação a/g.....	79
FIGURA 6.20	Resistência média à tração na flexão das séries de corpos-de-prova com adição mista de resíduos, em teor de 20%.....	80
FIGURA 6.21	Resistência média à tração na flexão das séries de corpos-de-prova com adição mista de resíduos, em teor de 20%.....	80
FIGURA 6.22a	Fibra do resíduo de CTI. Amostra de compósito de um dia de idade. Aumento de 2000 vezes.....	83

FIGURA 6.22b	Fibra do residuo de CTI. Amostra de compósito de dez meses de idade. Aumento de 4000 vezes.....	83
FIGURA 6.23a	Fibra do residuo de CTL. Amostra de compósito de um dia de idade. Aumento de 2000 vezes.....	83
FIGURA 6.23b	Fibra do residuo de CTL. Amostra de compósito de dez meses de idade. Aumento de 4000 vezes.....	83
FIGURA 6.24	Quantidades percentuais de gesso e residuo de CTI necessárias para moldagem de compósitos com diferentes teores de adição.....	85

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

TABELA 2.1	Resumo do grau de desenvolvimento de pesquisa de resíduos reciclados como materiais de construção no Brasil.....	16
------------	--	----

### CAPÍTULO 4

TABELA 4.1	Oferta mundial de gipsita em 1996.....	42
------------	--	----

### CAPÍTULO 5

TABELA 5.1	Determinação da consistência normal.....	44
TABELA 5.2	Determinação dos tempos de início e fim de pega.....	44
TABELA 5.3	Resultados da análise química do gesso.....	45
TABELA 5.4	Composição mineral do gesso, calculada a partir da análise química.....	45
TABELA 5.5	Resultados de pH, (Cl <sup>-</sup> ) solúvel, CO <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e Flúor (F).....	45
TABELA 5.6	Quantidade de resíduo gerado no corte das placas, segundo tipos de navalhas e sentido de cortes diferentes.....	47
TABELA 5.7	Resultados de ensaios de lixiviação e solubilização obtidos pelo Centro de Ecologia da UFRGS.....	48
TABELA 5.8	Resistência à tração e alongamento do CTL.....	52
TABELA 5.9	Resistência à tração e alongamento do CTI.....	53
TABELA 5.10	Absorção das amostras de contrafortes impregnados e laminados.....	55
TABELA 5.11	Fungos isolados e identificados em placas com meio de cultura BDA....	57

### CAPÍTULO 6

TABELA 6.1	Análise de variância do teor de adição (0%, 10%, 15% e 20%).....	65
TABELA 6.2	Análise de variância do teor de adição (10%, 15% e 20%).....	66
TABELA 6.3	Análise de variância do tipo de resíduo (CTI e CTL).....	66
TABELA 6.4	Análise da forma de adensamento (manual e mecânico).....	67
TABELA 6.5	Análise de variância da relação água/gesso (0,57, 0,60, 0,65 e 0,70).....	67

## LISTA DE ABREVIATURAS

a/g	Relação água/gesso
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de variância
ARIP	Aterro de resíduos perigosos
BDA	Batata-dextrose-ágar
CTCCA	Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins
CTI	Contraforte Termoplástico Impregnado
CTL	Contraforte Termoplástico Laminado
EVA	Ethylene Vinyl Acetate
FINEP	Financiadora de Estudos e Pesquisas
ISO	International Standard Organization
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
MF	Módulo de Finura
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos

## RESUMO

A reciclagem de resíduos na forma de materiais e componentes de construção civil tem sido uma alternativa bem sucedida em diversos casos, beneficiando a sociedade de várias maneiras, como pela economia de uso de matérias primas extraídas da natureza, pela redução do consumo de energia na produção de materiais e pela diminuição da poluição ambiental.

Neste trabalho se estuda a viabilidade de reciclagem de um resíduo industrial sólido, gerado na operação de corte das peças de contrafortes de calçados<sup>1</sup>, cuja quantidade de geração de resíduos na Região do Vale dos Sinos - RS é estimada em 80 ton/mês, o que equivale a um volume mensal de 550m<sup>3</sup> de resíduos. Até hoje o resíduo tem como destino final o descarte em aterros apropriados, devido ao alto custo necessário para a reutilização do material no processo industrial.

A proposta para o uso do resíduo neste trabalho é sua adição em matriz de gesso, gerando um novo compósito para posterior uso na produção de materiais e componentes de construção civil.

A realização do trabalho permitiu verificar que a adição do resíduo em matriz de gesso é possível, em teores de até 25% (massa de resíduo moído em relação à massa de gesso da matriz), não exigindo tecnologia sofisticada para moldagem.

Os resultados de ensaios realizados para caracterização do compósito indicam que o resíduo adicionado tem comportamento semelhante ao de uma fibra, incrementando de forma muito significativa a resistência ao impacto e à flexão e o comportamento pós-fissuração. A adição dos resíduos aumentou a tenacidade da matriz, evitando rupturas bruscas e proporcionando uma deformação plástica considerável. O compósito gerado é resistente ao manuseio, sendo adequado para uso na construção civil.

---

<sup>1</sup> componente utilizado para conferir forma, sustentação e beleza na região do calcanhar dos sapatos

## ABSTRACT

The recycling of waste in the form of materials and componentes for the civil construction sector has been found to be a sound alternative in several occasions, with outstanding benefits to society, namely the reduction in the use of natural raw materials and the drop in pollutant emissions.

This work aimed at recycling industrial waste generated by the counter scrap<sup>1</sup> pieces generated in shoe industries.

Estimates for total amount of counter scrap waste generated in South of Brazil area (Região do Vale do Rio dos Sinos) run at 80 metric tons monthly. According to manufactures, currently available technology and high costs do not make the reuse of this material feasible.

The proposal of use presented is the addition of the counter scrap to calcium sulfate hemihydrate matrixes (Plaster of Paris), producing a new composite to a future use as a construction material.

This study shows that it is possible to add counter scrap in Plaster of Paris in concentration until 25%, not being necessary a sophisticated technology to mould the composite.

Results obtained indicate that the counter scrap pieces behave as a fiber, improving mechanical properties of impact and flexural resistance, modifying the behavior of cracking, pointing at a promising composite for use in civil construction applications and offering a recycling alternative for this industrial waste.

---

<sup>1</sup> a componente used in the manufacture of shoe, that lends structural support and shape in the heel and toe box

## Capítulo 1

# INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O aumento da produtividade do setor industrial, propiciado pela utilização de novos materiais e modernos processos de industrialização, refletiu num aumento em mesma escala de resíduos de difícil degradação, sendo o destino final destes uma grande preocupação para as empresas geradoras e entidades ambientalistas.

Notoriamente, cada vez mais a questão ambiental vem mobilizando a sociedade, seja pela consciência do comprometimento da qualidade de vida a médio e longo prazo, ou pela legislação ambiental mais rigorosa, obrigando ao gerador dos resíduos a disposição adequada, acarretando despesas inexistentes até então. JOHN (1999) aponta a certificação ambiental retratada na série de Normas ISO 14000, já em implementação no Brasil, como a parte mais visível desta mudança.

Por outro lado, a comunidade científica em caráter interdisciplinar, tem investido grandes esforços na busca da chamada “tecnologia limpa”, possibilitando adaptar, transformar e criar novas tecnologias industriais com novos procedimentos compatíveis com a preservação dos recursos naturais.

Assim, a reciclagem através da reutilização ou recuperação dos resíduos ou de seus constituintes é uma das formas mais atraentes de solucionar os problemas de destino final dos resíduos, tanto do ponto de vista empresarial como dos órgãos de proteção ambiental (ROCCA et alli, 1992 apud GARLET, 1998).

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Um dos setores com maior potencial para absorver os resíduos sólidos industriais é a indústria da construção civil. Isto se deve basicamente à necessidade de redução do custo da construção, pelo grande déficit habitacional e baixa renda nacional, além da grande quantidade de matéria prima e da diversidade dos materiais empregados na produção (CINCOTTO, 1988).

A reciclagem de resíduos na forma de materiais e componentes para a construção civil tem sido uma alternativa bem sucedida em diversos casos, gerando à sociedade uma série de benefícios, como a redução do volume de matérias-primas extraídas da natureza, a redução do consumo de energia na produção de materiais e a diminuição na emissão de poluentes (KAZMIERCZAK et alli, 1998).

Este trabalho estuda uma forma de reciclagem de um resíduo sólido da indústria calçadista, proveniente da operação de corte de peças de contrafortes de calçados, cuja quantidade gerada na região do Vale dos Sinos/RS é cerca de oitenta toneladas/mês (aproximadamente 550 m<sup>3</sup>/mês), e assim como tantos outros resíduos sólidos industriais, o resíduo de contraforte não é, até então, reutilizado no processo industrial devido à limitações técnicas e alto custo para a reciclagem, tendo como destino final os aterros de resíduos industriais perigosos ou o descarte clandestino.

O grande interesse demonstrado pelas empresas fabricantes de contraforte na busca de um aproveitamento do resíduo, aliado às características mecânicas do material, tornam o aproveitamento do resíduo na indústria da construção civil uma promissora alternativa.

Partiu-se da hipótese que o resíduo de contraforte moído, devido à sua forma lamelar, adicionado a uma matriz de materiais comumente utilizados na construção civil, como o cimento e o gesso, teria o comportamento semelhante ao de uma fibra, proporcionando acréscimo de certas propriedades mecânicas.

Num primeiro momento, no âmbito do projeto de pesquisa denominado *“Utilização de resíduos da indústria coureiro-calçadista no desenvolvimento de um novo produto para a*

*construção civil*”, este resíduo foi adicionado em matriz a base de cimento, não obtendo-se, no entanto, resultados satisfatórios nos ensaios experimentais realizados.

Assim, a pesquisa prosseguiu com este trabalho, que tem como proposta a adição do resíduo de contraforte moído em matriz de gesso.

Segundo SAVASTANO Jr. et alli (1994), os materiais reforçados com fibras, pelas suas propriedades mecânicas adequadas e pelo aumento da ductilidade da matriz, têm apresentado uso crescente na Construção Civil, sendo que se prevê um aumento considerável de uso no Brasil, visto que empresas de grande porte estão começando a adotar esses produtos em seus sistemas construtivos.

Outras vantagens do uso de fibras em matrizes frágeis são citadas por JOHN (1999), como um melhor desempenho frente aos esforços dinâmicos, a diminuição da velocidade de propagação das fissuras, e o comportamento pós-fissuração, podendo apresentar uma considerável deformação plástica.

Por outro lado, o gesso é um material de construção civil com uso crescente no país, considerando algumas propriedades que são peculiares a este material, como: relativa leveza, pega rápida (adequada aos processos de produção industrializados), inexistência de retração por secagem e isolamento térmico e acústico (SANTOS, 1988).

### 1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento e caracterização de um novo compósito com potencial para uso na construção civil, buscando uma alternativa de reciclagem para os resíduos de contrafortes de calçados.

Tem como objetivos específicos:

- Estimar a quantidade percentual de resíduos de contraforte gerada no processo industrial;
- Selecionar e caracterizar física e quimicamente os contrafortes utilizado na pesquisa;
- Verificar o comportamento do compósito quanto à resistência à compressão, ao impacto e à flexão;

- Verificar os teores adequados de adição de resíduos à matriz de gesso;
- Verificar o comportamento do compósito quanto à biodeterioração e a compatibilidade entre os materiais empregados.

#### 1.4 HIPÓTESES

- O resíduo moído adicionado à matriz de gesso, devido à sua forma lamelar e boa resistência mecânica, se comportará como uma fibra;
- A adição do resíduo aumentará a ductilidade da matriz, proporcionando maior resistência à flexão e ao impacto;
- A adição do resíduo não comprometerá significativamente a resistência à compressão;

#### 1.5 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Tendo em vista ser este o primeiro estudo abordando a reciclagem dos resíduos de contrafortes de calçados em materiais de construção civil, optou-se por realizar uma pesquisa básica sobre o aproveitamento de resíduos na construção civil, limitando-se basicamente em:

- Caracterização do resíduo, análise de propriedades e forma de utilização;
- Análise das propriedades mecânicas nos estados fresco e endurecido do compósito.

O desenvolvimento de componentes para construção a partir do compósito não faz parte do escopo deste trabalho, ficando como sugestão para estudos futuros.

#### 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação é escrita em sete capítulos, sendo que o *Capítulo 1* tem como objetivo introduzir o assunto de forma genérica e apresentar os objetivos do trabalho.

O *Capítulo 2* aborda o problema do impacto ambiental decorrente do destino final de resíduos sólidos industriais. Tem por enfoque principal o importante papel da indústria da construção civil, que é tida como uma das grandes recicladoras de resíduos de outras indústrias.

No *Capítulo 3* é apresentada uma revisão bibliográfica sobre o contraforte de calçado, descrevendo as principais características do material, cujo resíduo faz parte da temática.

No decorrer do *Capítulo 4* é abordado o comportamento de materiais reforçados com fibras, buscando-se explicar de forma sintética o comportamento de compósitos fibrosos para uso em materiais de construção civil.

O *Capítulo 5* apresenta a caracterização física, química e de microestrutura dos materiais selecionados para ser empregados nos experimentos do trabalho.

No *Capítulo 6* são descritos o procedimento de mistura empregado na moldagem dos compósitos com adição dos resíduos e os resultados dos ensaios para caracterização do compósito resultante.

O *Capítulo 7* apresenta as conclusões do trabalho, apontando também sugestões para estudos posteriores.

## Capítulo 2

# USO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

### 2.1. O PROBLEMA AMBIENTAL

Segundo LIMA (1997), antes da ocorrência regular dos problemas ambientais que nos afligem hoje, os valores culturais e as crenças tradicionais costumavam associar a sobrevivência da sociedade humana à sobrevivência da própria Terra (biosfera). Pela escala das atividades desenvolvidas, bem como pelo nível de tecnologia aplicado, eram adotados modelos e práticas sustentáveis, vivendo-se dos juros das reservas naturais e não do capital.

No entanto hoje, a humanidade consome com grande voracidade não os juros do capital, mas as reservas não renováveis do planeta, colocando em risco a sua própria sobrevivência, por desdenhar a sobrevivência da Terra.

Preocupados com o rumo desta situação, líderes, governantes e a sociedade no mundo inteiro estão solicitando sempre com mais ênfase maneiras de aprimorar a relação do ser humano com o meio ambiente (LIMA, 1997).

Encontramos na bibliografia um número expressivo de pesquisadores e entidades ligados à construção civil engajados na questão ambiental:

- Bienal Mundial de Arquitetura de Sofia: *“O nosso planeta está seriamente deteriorado. Existe uma necessidade global de conservar a base ecológica da qual toda forma de vida definitivamente depende. Nós temos que buscar uma coexistência orgânica entre os ambientes naturais e os construídos, a fim de garantir uma melhor qualidade de vida para as gerações presentes e futuras”* (LANE & MALKIN, 1994 apud LIMA, 1997).

- Congresso Internacional dos Arquitetos, em conjunto com o Instituto de Arquitetos Americanos: *“Os edifícios e o ambiente construído têm um efeito importante no impacto sobre o ambiente natural e a qualidade de vida - planejamento sustentável integra problemas de recursos, eficiência energética, edifícios e materiais construtivos saudáveis, um uso e ocupação do solo que seja socialmente e ecologicamente sensato, ao mesmo tempo em que oferece uma estética que inspire, afirme e enobreça”* (LANE & MALKIN, 1994 apud LIMA, 1997).
- Comitê 37-DRC, criado em 1978 pela RILEM (Rèunion International des Laboratories d’Essais et Matériaux): *“trata da demolição e reutilização do concreto”* (CINCOTTO, 1988).
- Organization for Economic Cooperation and Development: cria o *“Comitê de Pesquisa em Materiais Residuais e Subprodutos para Construção de Rodovias”* (CINCOTTO, 1988).

Recentemente as principais nações do mundo, dentro de seus próprios interesses, legislaram e encorajam suas maiores companhias a se envolver em programas de conservação, uso de tecnologia limpa e desenvolvimento sustentável, que é definido por SJÖSTROM (1992) como uma maneira de desenvolvimento econômico que emprega recursos naturais e o meio ambiente não apenas a benefício do presente, mas também das gerações futuras.

Segundo GARLET (1998), a série de Normas ISSO 14000 vem contribuindo significativamente para impulsionar uma política mais duradoura e transparente na gestão ambiental das empresas, através da criação dos chamados selos verdes, os quais atestam que os produtos não agredem a natureza, propiciando-lhes, com isso, um diferencial atrativo, tornando-os cada vez mais simpáticos aos consumidores.

No Estado do Rio Grande do Sul existe a Lei nº 9.921/93 de 27 de julho de 1993 que regulamenta algumas questões envolvendo o acondicionamento, transporte, disposição e o tratamento de resíduos sólidos industriais (GARLET, 1997).

## 2.2. RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Atualmente um dos grandes problemas enfrentados pelas indústrias é o destino adequado dos resíduos industriais sem causar impacto ao meio ambiente, pois a quantidade gerada tem aumentado significativamente em decorrência do aumento da produtividade do setor industrial, propiciado pela utilização de novos materiais e modernos processos de industrialização.

O Brasil resente ainda a falta de dados confiáveis sobre a produção de resíduos industriais, mas estima-se que seja de aproximadamente 34.000.000 ton/ano (CASTILHOS, A. et ali 1997). NAHAS, (1995) aponta que somente na cidade de São Paulo são gerados aproximadamente 12.000 ton/dia.

### 2.2.1. Classificação dos resíduos

Segundo GARLET (1998) o resíduo pode ser definido como *todo o produto gerado em qualquer processo que não aquele para o qual foi concebido*, e segundo sua origem podem ser classificados em:

- **pós-consumo:** (lixo doméstico) seus componentes, salvo diferença em proporções, são basicamente os mesmos em todo o mundo ocidental. São coletados normalmente pelos sistemas de coleta públicos;
- **industrial:** seus componentes e quantidade de geração dependem do parque industrial considerado. Geralmente a coleta e o destino final são de responsabilidade das indústrias geradoras.

Segundo o estado físico em que se apresentam, os resíduos podem ser considerados:

- sólidos;
- líquidos
- gasosos.

Quanto aos riscos de contaminação ambiental, no Brasil, os resíduos industriais devem ser classificados de acordo com o especificado nas Normas Técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas:

- **NBR 10.004** - Resíduos Sólidos - Classificação;

- **NBR 10.005** - Lixiviação de Resíduos - Procedimento;
- **NBR 10.006** - Solubilização de Resíduos - Procedimento;
- **NBR 10.007** - Amostragem de Resíduos - Procedimento.

A metodologia adotada nestas Normas consiste essencialmente na determinação das características químicas e algumas características físicas dos resíduos, a fim de que através de avaliação dos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, possam ter manuseio e destino adequados.

Basicamente os procedimentos incluem ensaios que consistem em analisar as concentrações de poluentes solubilizados e lixiviados dos resíduos, cujos valores são comparados aos limites máximos admissíveis para a água potável.

De acordo com a NBR 10.004, os resíduos são classificados conforme suas características reconhecidamente perigosas e em listagem de padrões de concentração de poluentes. Esta Norma classifica os resíduos sólidos em três classes:

- **Classe I:** resíduos perigosos;
- **Classe II:** resíduos não inertes;
- **Classe III:** resíduos inertes.

### **2.2.2. Destino final de resíduos**

A política de proteção ambiental hoje vigente é voltada quase que exclusivamente para a deposição controlada de resíduos, conforme demonstra estimativa realizada em São Paulo, citado por NAHAS (1995):

- **89,0%:** depósito em aterros;
- **8,9%:** usinas de separação e compostagem;
- **1,3%:** incineração.

A deposição controlada apresenta limites, muitas vezes expondo a população urbana a problemas de saúde pública. Além disso, os aterros controlados são desperdício por tempo indefinido de um recurso limitado, o solo, concentrando enormes quantidades de resíduos perigosos sempre sujeitos a acidentes de graves conseqüências.

Do ponto de vista das empresas, os aterros representam uma despesa significativa, em decorrência dos custos de deposição e de manutenção. Muitas indústrias se utilizam de depósitos clandestinos, sem controle algum, realizando o despejo de seus resíduos à margem de rios e tantos outros locais impróprios.

Buscando controlar o risco de acidentes, a legislação relativa a estes aterros tem recebido aperfeiçoamentos constantes e, como consequência, o custo destes serviços tem aumentado, muitas vezes chegando a valores expressivos. JOHN (1999) exemplifica que facilmente os valores cobrados ultrapassam US\$ 100/ton na grande São Paulo. Este alto custo é um fator de limitação de qualquer política voltada ao uso de aterros por várias razões, dentre as quais destaca-se o fato de tornar as empresas geradoras de resíduos resistentes a essas práticas.

Os danos ambientais decorrentes dos aterros de resíduos, quer por acidente, manutenção inadequada ou pelo descarte clandestino, colocam em risco a sociedade pela contaminação do local (solo), principalmente os mananciais de água subterrânea.

O relatório da ONU sobre o meio ambiente alerta para esta questão fundamental, pois a água subterrânea é a única fonte de uma substância indispensável à própria vida. O uso indiscriminado do solo, para os mais diversos fins, representa uma ameaça a esses reservatórios naturais, uma vez que sua contaminação coloca em risco ou inutiliza permanentemente grandes mananciais (TRINDADE, 1982).

Uma das principais estratégias que poderia ser adotada para minimizar o problema ambiental decorrente do descarte dos resíduos é a redução da geração dos mesmos. No entanto, esta prática requer adaptações no processo industrial que nem sempre são viáveis.

GARLET (1998) cita as principais alterações necessárias para uma política de redução de geração de resíduos numa indústria:

- alterações de matérias-primas, através de substituição ou purificação das reservas;
- alterações de tecnologia, através de mudanças no processo, no arranjo de equipamentos e uso de automação;
- mudanças de procedimentos/práticas operacionais, através de prevenção de perdas, treinamento de pessoal e segregação.

Tendo em vista que a redução de geração de resíduos em muitos casos esbarra nessas adaptações do processo industrial, seja por limites técnicos e/ou por limites econômicos, resíduos sempre existirão.

Desta forma, outra estratégia que pode ser empregada é a reciclagem dos resíduos, atividade que pode ser distinguida em duas formas (GARLET, 1997):

- **Reciclagem primária:** reciclagem de resíduos dentro do mesmo processo responsável por sua geração;
- **Reciclagem secundária:** reciclagem de um resíduo em outro processo produtivo que não aquele que o originou.

A reciclagem primária é uma prática muito interessante às indústrias, por permitir o reuso dos resíduos gerados dentro da própria empresa. Entretanto, os limites técnicos e muitas vezes o alto custo envolvido inviabilizam este tipo de solução.

Já a reciclagem secundária apresenta inúmeras possibilidades, particularmente na indústria da construção civil, pois esta utiliza um volume muito grande de materiais de diversas naturezas, sendo a maioria de composição e produção simples.

### 2.3 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E A RECICLAGEM DE RESÍDUOS

Uma das características da indústria da construção civil apontada por pesquisadores da área é o fato de causar grande impacto ambiental, por gerar poluição considerável e ser o setor de maior consumo individual de recursos naturais, responsável por entre 20 e 50% do consumo dos recursos naturais extraídos (SJÖSTROM, 1992).

Por outro lado, a atividade de construção representa cerca de 6% de todo o produto nacional bruto, e o país continua ampliando significativamente seu ambiente construído, sendo que no setor habitacional observa-se um déficit de 14 milhões de unidades (JOHN, 1999).

Combinando as três características da indústria da construção: *grande consumidora de recursos naturais x emprego de diversos materiais x papel social e econômico muito*

*importante no cenário nacional*, a alternativa de reaproveitamento de resíduos sólidos próprios e/ou provenientes de outras indústrias tem oportunizado o surgimento de um novo eixo de pesquisas no âmbito das Engenharias Sanitária, Ambiental e Civil.

Com isso, é justificável que nos últimos anos o número de pesquisadores interessados na utilização de resíduos sólidos industriais como novos materiais de construção tenha crescido substancialmente.

A reciclagem de resíduos no desenvolvimento de novos materiais pode ser considerada como uma aliada à diminuição do impacto ambiental, pois apresenta inúmeras vantagens, dentre elas:

- reduz o volume de extração de matérias-primas, preservando os recursos naturais limitados;
- reduz o consumo de energia, considerando que estes produtos (resíduos) freqüentemente incorporam grandes quantidades de energia;
- permite muitas vezes a produção de materiais com melhores características técnicas;
- possibilita a criação de produtos diferenciados pelo “selo verde”;
- reduz o volume de aterros sanitários que necessitam espaços cada vez mais valorizados, especialmente próximos aos grandes centros urbanos.

A reciclagem de resíduos também pode ser uma maneira de diversificar e aumentar a oferta de materiais de construção, viabilizando eventualmente reduções de preço e benefícios sociais adicionais através de política habitacional. Esta situação pode ser favorecida pela adoção de medidas de incentivo específicas para a produção de habitações de baixa renda utilizando-se produtos reciclados de desempenho comprovado. Nesta situação, a reciclagem de resíduos como material de construção combina preservação ambiental com aperfeiçoamento de políticas sociais (JOHN, 1996).

Visando difundir e aumentar o uso de produtos reciclados na construção civil, PERA (1996) sugere a alternativa de buscar uma maior inclusão de resíduos na construção através da legislação e impostos maiores no uso de recursos naturais.

Do ponto de vista econômico das empresas geradoras de resíduos, a reciclagem é a forma mais atraente de solução do problema, pois:

- reduz as despesas de deposição em aterros;
- pode transformar uma fonte de despesa em uma fonte de receita (quando o resíduo se torna um sub-produto e começa a ser comercializado).

A reciclagem de resíduos deve ser parte importante de qualquer política ambiental.

O maior rigor no controle ambiental, aliado aos altos custos de depósitos e a possibilidade de lucro, podem persuadir o gerador de resíduos a investir em pesquisas que desenvolvam a reciclagem.

## 2.4 PESQUISA EM RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo PERA (1996), é possível dividir a pesquisa sobre reciclagem de resíduos industriais em materiais de construção civil de duas formas:

- **Pesquisa Básica:** propostas que buscam alternativas para reciclagem na construção civil, envolvendo estudos laboratoriais, com caracterização do resíduo e avaliação do potencial de reaproveitamento.

Deve prever a avaliação do risco de contaminação sanitária e ambiental, a avaliação da microestrutura, inclusive dos compósitos formados, e avaliação de desempenho de médio prazo. Tem como Objetivos:

- Adquirir completo conhecimento dos resíduos (caracterização físico-química e ambiental);
  - Buscar alternativas para a sua valorização;
  - Efetuar ensaios laboratoriais de comportamento mecânico, durabilidade; microestrutura, e riscos de poluição;
  - Avaliar a existência de Normas adequadas à aceitação destes novos materiais, com possibilidade de mudar e adequar Normas existentes;
  - Apresentar uma abordagem técnica completa assegurando que um material tecnicamente seguro foi desenvolvido.
- **Pesquisa Aplicada:** propostas que buscam o aperfeiçoamento do produto desenvolvido em escala laboratorial, com o desenvolvimento do processo industrial para viabilizar a produção de novo material ou componente a partir de resíduos, baseadas em pesquisas que

já tenham avaliação laboratorial comprovada do desempenho e do comportamento ambiental do novo produto.

Deve prever o desenvolvimento ou adaptação de Normas Técnicas para o produto, o desenvolvimento de mecanismos adequados para o controle e gestão da qualidade do processo com auxílio e participação da indústria. O financiamento deve dar retorno, de tal forma que, na medida em que cresce o desenvolvimento do produto, a participação da indústria geradora ou interessada no processo de reciclagem ganhe importância, sendo que a forma de financiamento com recursos públicos seja limitada a equipamentos ou nula.

Tem como objetivos:

- Mostrar a possibilidade de elaboração de materiais prevista durante a pesquisa básica;
- Desenvolver novos métodos de ensaios com a participação direta da indústria;
- Desenvolver novos processos na indústria;
- Encontrar clientes potenciais para a manufatura e aplicação dos novos materiais.

A reciclagem secundária dos resíduos é uma alternativa que já é e deve continuar a ser explorada pela construção civil, pois o setor provavelmente já é o principal da economia a reciclar resíduos.

Atualmente a reciclagem ocorre especialmente na indústria cimenteira que incorpora, somente no Brasil, de 2 a 3 milhões de toneladas de escória de alto forno granulada a cada ano, assim como a cinza volante e a sílica ativa que são resíduos incorporados rotineiramente.

A incorporação destes resíduos, além do reaproveitamento do material, permitem a fabricação de novos materiais com excelentes características técnicas, pois a sílica ativa viabiliza concretos de alta resistência mecânica e a escória de alto forno melhora o desempenho do concreto armado frente à corrosão por cloretos.

Tendo em vista a ampla variedade de resíduos industriais existentes, possibilitando um vasto campo de pesquisa, CINCOTTO (1995) propõe a classificação dos mesmos segundo as seguintes categorias, conforme estudos realizados no IPT - São Paulo:

- **Grupo I:** Resíduos e subprodutos de mineração;
- **Grupo II:** Resíduos e subprodutos metalúrgicos;

- **Grupo III:** Resíduos e subprodutos industriais;
- **Grupo IV:** Resíduos municipais;
- **Grupo V:** Resíduos e subprodutos agrícolas e florestais;

As atividades de pesquisa e desenvolvimento de novos materiais e componentes, no entanto, são complexas e exigem a capacidade de integração de conhecimentos característicos de diferentes especializações, em uma atividade multidisciplinar típica, envolvendo profissionais de áreas tão diversas como biologia, química, marketing e engenharia de materiais. Todos igualmente importantes na viabilização de uma reciclagem.

O financiamento aos projetos de pesquisa é outro fator importante a ser considerado, ainda mais em tempos onde os recursos destinados à educação e pesquisa estão cada vez mais escassos.<sup>1</sup>

O número de pesquisas na área de construção civil referentes ao aproveitamento e reciclagem de resíduos tem se mostrado crescente, sendo que vários trabalhos já apontam resultados satisfatórios.

Uma ferramenta de grande valor, já à disposição na Internet, é o banco de dados sobre reciclagem de resíduos na construção civil, que possibilita uma troca de informações entre pesquisadores, oferecendo referências bibliográficas, publicações de artigos, etc.<sup>2</sup>

JOHN (1999) apresenta um resumo da situação da pesquisa de alguns resíduos brasileiros, distinguindo o desenvolvimento da pesquisa em dez etapas: caracterização do resíduo, risco ambiental do resíduo, alternativas de reciclagem, a nível de laboratório, risco ambiental do composto, viabilidade econômica, processo industrial desenvolvido, normalização, transferência da tecnologia, novas alternativas de reciclagem. Este resumo é apresentado no Tabela 2.1.

---

<sup>1</sup> Foi criado um programa de financiamento à pesquisa na área do ambiente construído no Brasil, denominado HABITARE, coordenado pela Finep - Financiadora de Estudos e Pesquisas.

<sup>2</sup> Este banco de dados foi criado pelo Departamento de Construção Civil da Universidade de São Paulo (PCC-USP), cujo endereço é <http://www.recycle.pcc.usp.br>.

**Tabela 2.1** Resumo do grau de desenvolvimento de pesquisa de resíduos reciclados como materiais de construção no Brasil (JOHN, 1999).

RESÍDUOS	Caracterização	Risco Ambiental	Alternativas de Reciclagem	A Nível de Laboratório	Risco Ambiental	Viabilidade Econômica	Processo Desenvolvido	Normalização	Transferência da Tecnologia	Novas Alternativas
Escória de Alto Forno	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cinza Volante	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Escória de Aciaria	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cinza de Grelha	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Entulho de Obra	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cinza de Casca de Arroz	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Escória de Cobre	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cinza de Xisto Betuminoso	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Fosfogesso	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Fibras Vegetais	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Sílica Ativa	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cal de Carbureto	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Resíduos de Madeira	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Areia de Fundição	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Beneficiamento de Rochas	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Aparas de Plásticos	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■ Conhecimento consolidado; ■ Conhecimento já desenvolvido; □ Conhecimento incipiente/inexistente

Nos últimos anos, a reciclagem e reutilização de resíduos tem sido tema de workshops, congressos, seminários e encontros, reunindo pesquisadores nacionais e convidados estrangeiros da área, contribuindo e impulsionando de forma significativa o avanço de pesquisas que versam sobre o assunto.

Como exemplo apresenta-se três eventos ocorridos nos três últimos anos, promovidos pela Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), cujos artigos publicados nos Anais versam sobre os resíduos estudados no país, visando sua reciclagem em construção civil:

- *Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil*, realizado em São Paulo em 25 e 26 de novembro de 1996;
- *I Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis*, realizado em Canela, RS, em 18 a 21 de novembro de 1997;

- *II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental - Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental*, realizado em Porto Alegre, RS em 26 a 28 de outubro de 1998.

Alguns trabalhos apresentados nestes três eventos voltam-se para o levantamento e caracterização de resíduos, abordando informações importantes para estimular pesquisas que visam a reciclagem dos mesmos, permitindo uma priorização das atividades de pesquisa em resíduos de maior ou menor impacto ambiental, assim como avaliar quais resíduos possuem maior possibilidade de aplicação.

Como exemplo de trabalhos nesta linha, citamos CASTILHOS Jr et alli (1996 e 1997) e CHERRIAF et alli (1997). Ambos apresentam um levantamento e caracterização dos resíduos sólidos industriais disponíveis em Santa Catarina. SAVASTANO Jr. et alli (1997) apresentam a caracterização e quantificação de dezenove resíduos de fibras vegetais oriundas de processos agroindustriais. PINTO (1996) apresenta um breve relato da evolução da adoção de procedimentos da reciclagem de resíduos da construção urbana em cidades brasileiras de maior porte, com informações sobre volumes de resíduos gerados, custos de reciclagem e gerenciamento de resíduos, potencial de uso em substituição aos agregados convencionais e informações sobre delimitação de políticas públicas específicas.

Os demais trabalhos publicados nestes três eventos apontam e discutem tecnologias para uso de diversos resíduos industriais em materiais visando a reciclagem dos resíduos.

SILVA (1996), POZZOBON et alli (1998) estudam a *cinza de carvão mineral*, avaliando várias propriedades deste resíduo, analisando inclusive a viabilidade econômica para o uso deste resíduo.

CALARGE et alli (1998) propõem o desenvolvimento de tijolos maciços para uso em edificações de baixa renda a partir de *cinzas pesadas e cales hidratadas*.

A *cinza da casca de arroz* tem sido tema estudado por diversos pesquisadores nacionais e internacionais, por produzir uma cinza rica em sílica amorfa que pode ser incorporada na fabricação do cimento. (METHA, 1992). Nos Anais destes eventos, SILVEIRA et alli (1996) analisam a influência da temperatura de queima e do tempo de moagem na atividade

pozolânica da cinza. Neste sentido, PRUDÊNCIO et alli (1996) alertam a influência do grau de moagem na pozolanicidade e na demanda de água de amassamento. ISAIA et alli (1996) discutem novos dados publicados e apresentam resultados de pesquisa onde foi evidenciado o aumento da durabilidade dos concretos com pozolanas, à medida que aumentou o teor de adição nos traços.

SILVA et alli (1996) estudam a possibilidade de substituição de uma parcela da massa de cimento por *cinza da casca de eucalipto*. Obtiveram resultados satisfatórios até então, mas prosseguem a pesquisa com avaliação de desempenho, incluindo ensaios de envelhecimento natural.

BERALDO et alli (1996) estudam a viabilidade de fabricação de compósitos biomassa vegetal-cimento a partir de *resíduos de madeira* como alternativa para a fabricação de componentes da construção civil que não necessitem suportar carregamentos importantes. São estudados dois tipos de cimento (CPII e CP V), e quatro espécies de madeira (*Myroxylon balsamum*, *Aspidosperma polyneuron*, *Pinus ocarpa*, *Eucalyptus ciriodora*).

O *bagaço de cana* (resíduo produzido após o esmagamento e extração do caldo) é estudado por SARMIENTO et alli (1996) visando minimizar problemas de incompatibilidade química entre a fibra do bagaço e o cimento, para fins de obtenção de materiais de construção. Consideram que a argamassa de cimento e areia com o reforço de fibras de bagaço de cana de açúcar pode ser usada para a obtenção de um compósito de boa qualidade, tendo em vista os resultados experimentais obtidos.

No trabalho desenvolvido por ROLIM et alli (1996), são estudadas as características físico-mecânicas do material *solo-vinhaça*<sup>3</sup> concentrada, e sua possível utilização na fabricação de tijolos. Concluem que o uso de tijolos de solo-vinhaça concentrada pode ser recomendado para ambientes protegidos em paredes revestidas e tratadas com produtos hidrofugantes.

CHERRIAF et alli (1998) apresentam uma metodologia de valorização do *lodo da indústria têxtil* como materiais de construção através de processo de solidificação com o cimento e com a cinza pesada.

---

<sup>3</sup> vinhaça = resíduo líquido do processo de obtenção do álcool da cana-de-açúcar

O trabalho de SANTOS et alli (1998) apresenta uma forma de reciclagem *do resíduo gerado na preparação da salmoura* para o branqueamento da celulose (resíduo da indústria papelreira), a lama de sulfato de bário. Estudam a mistura desta lama com argila, visando a fabricação de tijolos e blocos cerâmicos para habitação de interesse social.

As *escórias granuladas de alto forno* são estudadas por SILVA et alli (1996) que apresentam um projeto cooperativo que visa criar mercados alternativos para as escórias, desenvolvendo cimentos de escória destinados à produção de painéis reforçados com fibras de vidro tipo E.

Um resíduo da indústria siderúrgica que já se tornou um subproduto à disposição do mercado, havendo um grande número de publicações sobre o tema é a *silica ativa*, que consiste no pó gerado na produção das ligas ferro-silício e de silício metálico em fornos elétricos de redução. A situação da sílica ativa no Brasil é relatada por KULAKOWSKI et alli (1996), assim como são apresentados alguns benefícios da utilização deste resíduo no concreto.

CASSA et alli (1996) propõem o uso de *escória de ferro-cromo* como agregado graúdo de concretos de elevado desempenho, obtendo bom comportamento mecânico.

TAKEDA et alli (1998) consideram que o *resíduo da produção de ácido fosfórico - fosfogesso*, que hoje é descartado, pode ser misturado com cimento com utilização potencial para material de base e sub-base rodoviária, avaliando-se aspectos de resistência e deformabilidade.

MASUERO et alli (1996) realizaram uma investigação para caracterização e análise da potencialidade do uso da *cinza da serragem cromada*, proveniente da queima do resíduo de couro curtido ao cromo, porém, sem resultados satisfatórios até o momento.

GARLET et alli (1997, 1998) discutem a possibilidade de aproveitamento de *resíduos do copolímero de E.V. A. (Ethylene Vinyl Acetate)*, componente empregado na confecção de solados e palmilhas de calçados. Consideram que as propriedades analisadas indicam que este material pode ser utilizado em componentes onde se busca baixa densidade e baixa resistência, como: isolamento térmico, enchimento de vãos, confecção de placas para forros, etc.

A reciclagem de *entulhos originários da construção civil* tem sido tema amplamente explorado em pesquisas. HaAMASAKI et alli (1996) propõem a reciclagem de entulho de obras com objetivo de uso como argamassa de alvenaria, simulando a reutilização do entulho no próprio local gerador, no entanto, verificam a necessidade de maior aprofundamento quanto ao aspecto de pozolanicidade dos materiais cerâmicos e à estabilidade dimensional da argamassa confeccionada com entulho. Já LEVY et alli (1996) produziram diversas argamassas de revestimento com diferentes teores de materiais cerâmicos, analisando a evolução de suas propriedades no estado fresco e endurecido. Os resultados obtidos apontam que revestimentos produzidos com a utilização de materiais cerâmicos reciclados são teoricamente apropriados para produção de argamassas. COELHO et alli (1998) apontam como atraente alternativa, a utilização de resíduos de demolição e de construção como agregado.

Os trabalhos supracitados mostram alguns dos resíduos industriais que estão sendo estudados por pesquisadores.

Vale ressaltar que, além destes trabalhos publicados nos três eventos citados, existem inúmeras publicações em Anais de outros eventos, Dissertações de Mestrado e Teses de Doutorado que apresentam estudos de outros resíduos para reciclagem na construção civil, no âmbito nacional e internacional.

No entanto, de acordo com as conclusões tiradas na realização do *Workshop Reciclagem e Resíduos como Materiais de Construção*, JOHN et alli (1996) alertam que muitos dos trabalhos realizam abordagem meramente tecnológica, baseados apenas em ensaios mecânicos de componentes ou novos materiais, utilizando-se metodologias de avaliação estabelecidas por Normas destinadas a componentes confeccionados com materiais tradicionais. Todavia, faz-se necessária também, a abordagem científica, permitindo uma verificação da microestrutura e identificação dos produtos formados, bem como a análise do desempenho a médio prazo do risco ambiental dos novos produtos.

Avaliações incompletas dos novos produtos podem conduzir sua aplicação ao fracasso, gerando uma imagem negativa, dificultando a ampliação e consolidação de mercado, e refreando cada vez mais a introdução de novos materiais na construção civil, que é tida como uma indústria extremamente conservadora.

Um grande esforço ainda é necessário para a aplicação efetiva das técnicas propostas. Como exemplo, podemos citar:

- A necessidade de técnicas e normas brasileiras adequadas à avaliação do risco ambiental de novos produtos confeccionados a partir de resíduos industriais;
- A necessidade de técnicas, normas, padrões e critérios adequados à avaliação do comportamento e desempenho dos novos produtos;
- A necessidade de maior participação da iniciativa privada na busca de soluções para o problema;
- A necessidade de maior participação e apoio governamental à pesquisa;
- A necessidade de maior conscientização da sociedade como um todo, referente ao impacto ambiental causado pelos resíduos industriais.

É consenso dos pesquisadores da área que, na prática, um resíduo só será reciclado se o custo para beneficiá-lo for inferior ao custo total de transporte, tratamento e disposição adequada. Normalmente ainda não se leva em consideração a preservação ou otimização do consumo dos recursos naturais.

## Capítulo 3

# CONTRAFORTES DE CALÇADOS

### 3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A região do Vale dos Sinos, no Rio Grande do Sul é tida como o principal setor calçadista do país, sendo geradora de aproximadamente 65% dos resíduos da indústria coureiro-calçadista, segundo estimativa do “Grupo de estudo de resíduos” coordenado pelo Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins.

O volume de resíduo de contraforte, objeto de estudo neste trabalho, é estimado em 80t/mês somente na Região do Vale do Sinos, o que equivale aproximadamente a um volume de 550 m<sup>3</sup>/mês.

Atualmente este resíduo não é reaproveitado no processo industrial e tem como destino final o depósito em Aterros de Resíduos Perigosos - ARIP's, de controle público e/ou privado, ou o descarte clandestino.

### 3.2. CONTRAFORTE DE CALÇADO

O contraforte é um componente à base de polímeros, utilizado nas regiões do calcanhar do calçado, com a finalidade de armar, reforçar, dar forma, beleza e segurança, buscando a perfeita reprodução da fôrma do sapato, evitando o acalcanhamento.

Este material é conformado no próprio sapato, devendo manter a sua forma de maneira mais permanente possível. Quando deformado por ação de uma força externa, deve voltar ao seu formato anterior quando cessada a ação da força deformante. Esta característica do material é chamada de efeito “ping-pong” (CTCCA, 1986; SCHMIDT, 1992).

BRENNER et alli (1986) apresentam as funções e características básicas essenciais dos contrafortes, tendo em vista o uso em calçados:

- Resistência mecânica às tensões deformantes, oriundas da tendência de retorno à forma original;
- Resistência mecânica às tensões externas decorrentes da utilização normal da peça sujeita a impactos e outros danos generalizados;
- Resistência à fadiga responsável pela resposta às várias solicitações dirigidas à mesma área;
- Resistência química, que define o grau de resposta às exigências determinadas pela presença de umidade, suor, etc.;
- Moldabilidade/conformabilidade responsável pela definição da forma desejada e possibilidade de implementação de novos “*designs*”;
- Estabilidade térmica que determinará, principalmente, a manutenção da forma e estrutura inalteradas sob condições desfavoráveis de temperatura e/ou tensões associadas; é uma das principais causas do colapso de contrafortes (acalcanhamento);
- Uniformidade (homogeneidade) determinante da ausência de pontos críticos, contribuindo para a estabilidade, resistência à deformação, à fadiga e estética.

Pelas características do material acima citadas, tendo em vista o uso em calçados, percebe-se que se trata de um material nobre, com boa resistência mecânica e química, o que permite estimar que seu uso como material de construção é promissor.

### **3.3 TIPOS DE CONTRAFORTES**

Originalmente os contrafortes eram fabricados em couro. Entretanto, a necessidade inevitável da substituição do couro como matéria prima levou diversas empresas e institutos de pesquisa a estudar e criar novos materiais.

Assim, no decorrer dos últimos anos, o desenvolvimento e a descoberta de novos polímeros propiciou otimizações e respostas às exigências de mercados inovadores.

No setor calçadista, esta evolução possibilitou o atendimento, entre outros, de exigências tais como durabilidade, conforto, atualidade (moda), rapidez e agilidade nos processos. Devido a isso, todos os materiais empregados nos calçados sofreram modificações (BRENNER, 1986).

Atualmente os contrafortes são usados praticamente para todos os tipos de sapatos, devido à grande variedade de materiais existentes no mercado, adaptando-se praticamente a todo tipo de modelo (LUZ, 1987).

São confeccionados de vários materiais, e podem ser classificados em quatro grupos principais:

- **Convencionais** (colados): são fabricados com couro aglomerado e pré-conformados mediante alta temperatura, fora do calçado;
- **Químicos**: são fabricados com um tecido ou um não-tecido como base e impregnados, normalmente com poliestireno de alto impacto;
- **Injetados já conformados**: são injetados em polímeros termoplásticos e colocados no calçado mediante adesivos convencionais;
- **Termoplásticos**: são aqueles que amolecem (tornam-se plásticos) sob a ação do calor, ou seja, são reativados termicamente, permitindo assim sua conformação.

Segundo NIEWOHNER et alli (1991), graças à praticidade de utilização e facilidade de processamento, os contrafortes de ativação térmica (termoplásticos) têm sido os preferidos em todo o mundo. O mesmo ocorre no Brasil, onde os contrafortes termoplásticos praticamente dominam o mercado.

Devido à preferência ao uso dos contrafortes termoplásticos, este trabalho estuda o aproveitamento do resíduo apenas deste tipo de contraforte, sendo que os demais tipos de contrafortes não fazem parte do escopo do trabalho.

### 3.4 CONTRAFORTES TERMOPLÁSTICOS

O contraforte termoplástico é basicamente composto por um material de estruturação embebido por resinas termoplásticas, tendo externamente aplicado um adesivo chamado “*hot melt*”.

Posteriormente esta lâmina (placa) é cortada por navalhas especiais, obtendo-se assim a peça de contraforte que é utilizada na região do calcanhar dos sapatos.<sup>1</sup>

A conformação das peças de contrafortes termoplásticos é realizada no próprio calçado mediante a fusão da peça termoplástica ao couro, por pressão local e elevação de temperatura. Este fato pode ser explicado pelas alterações no estado físico dos materiais termoplásticos aptos à aplicação em contrafortes, citadas por BRENNER (1986):

- *Transição de estado físico*: a determinada temperatura e/ou pressão deverá ocorrer alteração que o conduzirá de sólido a líquido. Cessados os efeitos externos, deverá ocorrer a transição inversa, isto é, o retorno de líquido a sólido.;
- *Alteração na adesividade*: manifestada através do aparecimento de propriedades aderentes.

Devido ao contraforte termoplástico ser um material relativamente novo, existem poucas pesquisas sobre suas características mecânicas. Os ensaios realizados procuram verificar sua adaptabilidade às condições de conformação e utilização em calçados, sendo pouco úteis para uma avaliação de sua aplicabilidade na Construção Civil.

### 3.4.1 Materiais Constituintes

#### 3.4.1.1 Resinas de Impregnação

Segundo CTCCA (1994), como resinas de impregnação dos contrafortes termoplásticos, pode-se usar uma grande variedade de substâncias, seja isoladamente, seja em combinação com outras. Entretanto, as fórmulas de impregnação fazem parte do “know how” dos fabricantes e não são reveladas. Entre estas resinas utilizadas podemos citar:

- resinas acrílicas;
- elastômeros lineares;
- poliestireno (modificado por solvente);
- nitrocelulose;
- poliuretano;
- poliamida.

---

<sup>1</sup> No item 3.5 a operação de corte das peças de contraforte é detalhada.

Conforme LUZ (1987), as resinas ou polímeros termoplásticos utilizados podem ser ajustados quanto ao seu ponto de amolecimento, ou seja, a temperatura na qual são reativados. Este ajuste é feito pelo fabricante do material, atendendo às exigências dos diferentes tipos de calçados e equipamentos de conformação. O tempo de ativação da resina deverá oscilar em torno de 15 segundos, tempo efetivo da conformação. Mas, de acordo com NIEWOHNER et alli (1991), os polímeros atuais já podem se manter ativados por mais tempo, aproximadamente 3-4 min, facilitando a montagem no calçado.

As resinas atuais permitem uma faixa de trabalho entre 70°-80°C para a realização da conformação da peça de contraforte no sapato. Assim, conclui-se que nas altas temperaturas ambientes de verão não há possibilidade de amolecimento do material (NIEWOHNER, 1991).

#### **3.4.1.2. Materiais de estruturação**

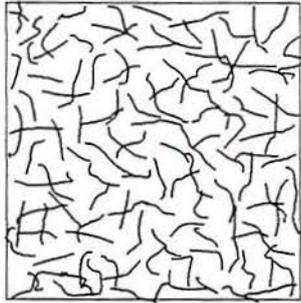
O material de estruturação do contraforte, além de estruturar a peça, tem a finalidade de prover estabilidade dimensional e resistência mecânica. Basicamente são utilizados dois tipos de material de estruturação:

- não-tecidos;
- tecidos.

##### **3.4.1.2.1. Material de estruturação “não-tecido”**

Segundo OKASAKI (1988), o não-tecido é um “voile”, manta ou véu manufaturado, constituído de fibras ou filamentos repartidos direcionalmente ou aleatoriamente, no qual a coesão interna é assegurada por processo mecânico, químico, físico ou ainda pela combinação de dois ou mais dos processos citados.

Conforme SCHERER (1994), as fibras ou filamentos de uso mais freqüente são o poliéster, viscose, acrílico, etc., e as resinas utilizadas para a união destas fibras são a acrílica, uretânica, anitrílica, entre outras.



**Figura 3.1** - Representação de material não-tecido

A manta não tecida é 100% poliéster, de filamentos contínuos e de baixa densidade.

A coesão interna é obtida por processo mecânico (agulhagem), ou químico, através da adição de resinas.

A matéria de base é um tereftalato de poliéster obtido pela policondensação de dois produtos derivados do petróleo. O poliéster utilizado apresenta as seguintes características:

- ponto de fusão: 260°C
- ponto de amolecimento: 220-240°C
- alongamento: 50%
- densidade: 90g/cm<sup>3</sup>

Este material é caracterizado pela empresa fabricante como:

- Resistente a:
  - abrasão;
  - micro-organismos e mofo;
  - soluções salinas;
  - solventes orgânicos;
  - oxidantes e redutores;
  - bases;
  - ácidos orgânicos, fosfórico, fluorídrico, fôrmico, oxálico;
- Sensível a:
  - alguns fenóis e fenóis clorados;
  - soda cáustica;
  - ácido clorídrico (concentração > 20%); ácido sulfúrico (concentração > 37%); ácido nítrico (concentração > 40%);

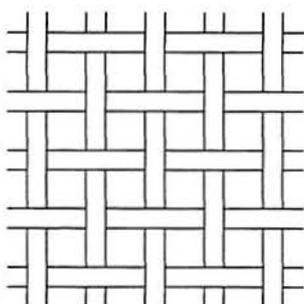
Por ser uma manta com 100% de filamentos contínuos interligados mecanicamente por agulhagem, apresenta uma grande resistência à tração em qualquer sentido.

#### 3.4.1.2.2. Material de estruturação “tecido”

SCHERER (1994) define tecido como fios obtidos a partir de fibras torcidas naturais, sintéticas ou mistas e dispostos de maneira a se obter um entrelaçamento composto por fios de urdume (direção do comprimento do rolo) e fios de trama (direção da largura do rolo), formando uma base de armação.

Os fios são processados em máquinas conhecidas como teares. Recebem, posteriormente, tratamento com as mais diversas finalidades (tingimento, aplicação de um produto específico, ou impregnação, no caso de contrafortes).

A base de armação é um desenho mínimo (denominado padrão) que possui um certo número de fios de urdume e um certo número de fios de trama, capaz de representar o entrelaçamento de todos os fios de urdume com todos os fios de trama que formam o tecido.



**Figura 3.2** - Representação de material tecido

Os contrafortes com material de estruturação tecido apresentam características superiores às do material não tecido, sendo cerca de 30% mais caros.

A proporção de material têxtil no tecido impregnado de resina é 50% maior em relação ao não tecido. Pode-se dizer que 150g/m<sup>2</sup> de material têxtil não tecido corresponde 200-250g/m<sup>2</sup> de material tecido.

No Brasil, o uso deste tipo de material é recente, sendo que poucas empresas o utilizam. Devido ao uso restrito, a bibliografia do material utilizado não é acessível, e é tida como “segredo industrial”. O seu uso, entretanto, tem aumentado significativamente e estima-se que venha a dominar o mercado.

### **3.5 OBTENÇÃO DAS PEÇAS DE CONTRAFORTE E GERAÇÃO DE RESÍDUOS**

Em ambos os contrafortes estudados, a base de tecido ou não-tecido é fornecida em rolos de um metro de largura.

Este material base é então impregnado pelas resinas mencionadas, e uma camada de adesivo “hot melt” é aplicada na superfície; o material resultante é posteriormente cortado em placas de tamanho padronizado, medindo 1,00m de largura por 1,20m de comprimento.

A gramatura das placas é variável, devido às necessidades dos vários tipos de calçados. Para isto, são utilizadas mantas não tecidas de mais de uma gramatura, e o material tecido é utilizado em uma ou mais camadas.

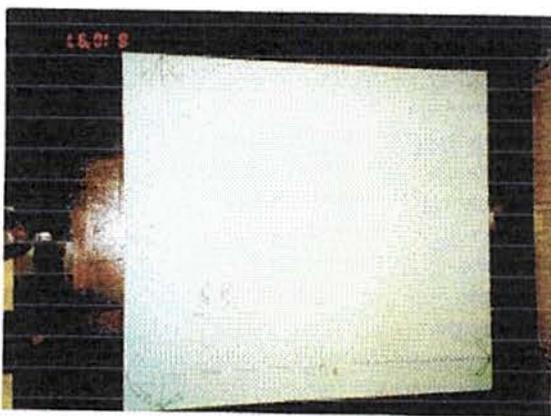
As diferenças de tamanho dos sapatos, os diversos tipos de calçados (de acordo com estação do ano) e o gênero do modelo (masculino/feminino/infantil) geram uma grande variedade de formas nas quais os contrafortes devem ser cortados. As peças de contraforte são obtidas através do corte das placas utilizando-se navalhas especiais. A operação de corte pode ser automatizada ou mecânica com o uso de balancins.

O corte automatizado determina um aproveitamento maior da placa de contraforte por modelo de sapato, pois as bordas das peças podem ser programadas de forma a tangenciarem-se. No entanto, requer equipamento mais sofisticado, assim como a concentração do sistema de corte a um só tipo de navalha por período de uso da máquina, implicando em custos elevados de produção (equipamento e pessoal) e restringindo a possibilidade de variação dos tipos de contrafortes produzidos em curto espaço de tempo.

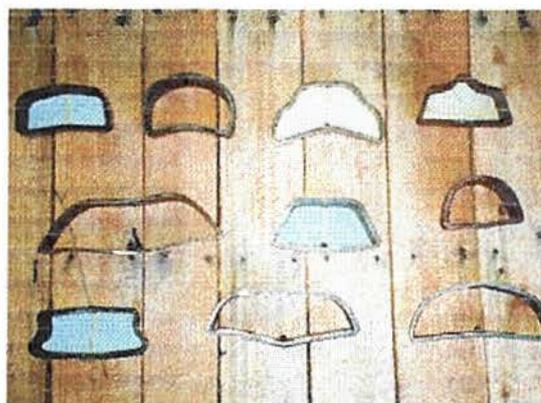
Sendo assim, os balancins mecânicos com comando manual para o corte de contraforte são mais frequentemente encontrados nas indústrias calçadistas da região do Vale do Rio dos Sinos. Neste modelo de corte, o operário posiciona a navalha sobre a superfície da placa e aciona o balancim, realizando o corte. Numa só vez são cortadas em torno de seis peças, tendo em vista a sobreposição de seis placas de contraforte. O aproveitamento da placa de contraforte, neste caso, é controlado pelo operador.

Tendo em vista as características de resistência do material de estruturação, o contraforte de base não tecida não exige direção de corte, por causa da posição aleatória das fibras. Já o contraforte de base tecida deverá ser cortado no sentido do comprimento da placa (sentido do urdume), e recomenda-se evitar o corte inclinado de peças em relação ao comprimento da placa. Tal procedimento poderá causar o repuxo do corte e a formação de rugas (SHERER, 1994).

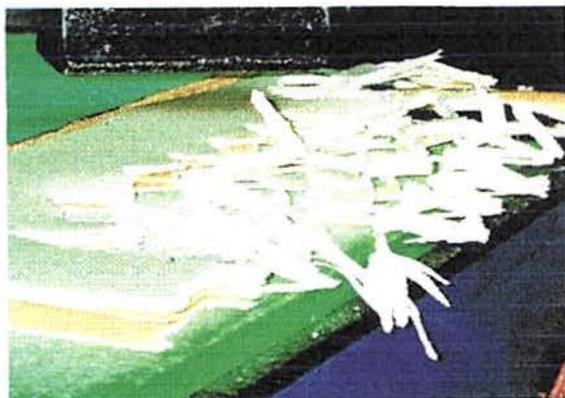
Apresenta-se nas Figuras 3.3 a 3.8 o processo de obtenção das peças e a conseqüente geração de resíduos.



**Figura 3.3** Placa de contraforte termoplástico impregnado



**Figura 3.4** Navalhas para corte das peças de contraforte



**Figura 3.5** Operação de corte das peças de contraforte em balancim manual.



**Figura 3.6.** Vista em detalhe das peças de contrafortes.



**Figura 3.7** Resíduo das placas de contraforte gerado na operação de corte das peças.



**Figura 3.8** Aterro de resíduos industriais localizado na Região do Vale dos Sinos, Rio Grande do Sul, Brasil.

Considerando-se o formato irregular arredondado das peças de contraforte, não é possível aproveitar a totalidade da placa, gerando-se um resíduo entre um corte e outro denominado “esqueleto”. Este material não é reaproveitado no processo, tornando-se um resíduo sólido para a indústria, representando uma perda de mais de 20% em relação às placas.

Como destino final, os resíduos devem ser depositados em aterros apropriados.

Tendo em vista a busca de diminuição de volume, algumas empresas realizam uma moagem dos “esqueletos”, e acondicionam o material moído em sacos plásticos, enquanto outras prensam o material e o arranjam em fardos para realizar o descarte.

## Capítulo 4

# MATERIAIS REFORÇADOS COM FIBRAS

### 4.1 O USO DE FIBRAS PARA REFORÇO DE MATRIZES FRÁGEIS

A adição de fibras em materiais de construção civil remonta à antigüidade, já que se tem registro deste uso nos primórdios da civilização, com emprego no Antigo Egito e em Roma, onde os adobes e tijolos eram reforçados com raízes. Após o Renascimento tem-se notícias do uso de placas de gesso reforçadas com sisal ou crina de cavalo (AGOPYAN, 1991).

Apenas no século passado é que foram realizadas as primeiras tentativas de produção racional destes compósitos, inicialmente por mistura de pastas diluídas de cimento com fibras naturais, como as vegetais, e fibras de amianto.

O cimento-amianto foi de fato o primeiro material de construção reforçado com fibras produzido em escala comercial, com emprego generalizado, mesmo sem o devido conhecimento de seu comportamento, pois afirma-se que este tipo de material somente foi estudado na Engenharia Civil a partir da década de 60, nos países desenvolvidos.

Este compósito se caracteriza por apresentar resistência mecânica muito elevada em comparação aos outros materiais empregados na construção civil, e ocupa até hoje um lugar de destaque entre os materiais de construção, apesar dos riscos de saúde que a exposição ao amianto traz ao homem.

Considera-se a tese de H. Krenchel, em 1964, como um marco inicial dos estudos de materiais fibrosos na construção civil, com uma contribuição substancial para a teoria dos compósitos com matrizes frágeis. Já no início da década de 70, destaca-se o trabalho pioneiro de A. Majmudar e J. Ryder que desenvolveram fibras de vidro a base de zircônio, resistentes aos álcalis do cimento (AGOPYAN, 1991).

Os materiais fibrosos foram desenvolvidos, produzidos e utilizados inicialmente na indústria da construção civil. No entanto, embasado em teorias consistentes, foi em outros ramos da Engenharia que eles tiveram um grande avanço, contribuindo para o desenvolvimento das indústrias mecânica, naval, aeronáutica e bélica, desde a Segunda Guerra Mundial. Por esta razão, os principais estudos de materiais fibrosos contemplam as matrizes metálicas e poliméricas e seu desenvolvimento foi de tal monta que hoje é possível produzir materiais extremamente leves e resistentes, chegando-se a denominá-los “sólidos fortes” (KELLY, 1973, apud AGOPYAN, 1991).

Na construção civil, os materiais reforçados com fibras têm apresentado uso crescente devido às propriedades mecânicas que lhes são particulares e pelo aumento de ductilidade que as fibras conferem à matriz.

No exterior, componentes de construção com materiais fibrosos são comumente encontrados em edificações e obras de arte, sendo disponíveis para compra até mesmo em casas comerciais de materiais de construção.

No Brasil, apesar do uso ter iniciado timidamente na década de 80, observa-se um aumento considerável na década atual, já que empresas de grande porte estão começando a adotar esses produtos em seus sistemas construtivos (JOHN, 1997).

É possível descrever o avanço do emprego dos materiais fibrosos com matrizes frágeis a partir da evolução das fibras especialmente desenvolvidas para este fim, pois os estudos já contemplam produtos de grandes espessuras e visam o uso para fins estruturais. O avanço do conhecimento do comportamento dos materiais fibrosos permite um campo de aplicação cada vez maior (AGOPYAN, 1991).

## **4.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS FIBROSOS**

Os materiais fibrosos são polifásicos, distinguindo-se duas fases básicas: as fibras e a matriz em que as fibras estão embebidas.

A função principal das fibras é a de ser reforço mecânico da própria matriz, já que em materiais de construção as matrizes mais empregadas são as frágeis (apresentam ruptura

brusca, sem deformação plástica), notadamente pastas, argamassas e concretos de aglomerantes como o cimento Portland, e em menor escala, a cal e o gesso.

Normalmente o volume de fibras adicionado em relação ao volume da matriz é menor, mesmo em se tratando de fibras com resistência mecânica inferior à da matriz.

A adição de fibras nas matrizes frágeis possibilita melhoras em algumas de suas propriedades como: ductilidade, comportamento pós fissuração e acréscimo nas resistências mecânicas, principalmente à tração, à flexão e ao impacto.

Os princípios básicos do reforço com fibras são similares aos do concreto armado considerando que a armadura (no caso as fibras) suporta e distribui as tensões no compósito, sendo a macroestrutura de um material reforçado com fibras bastante homogênea comparada com a do concreto armado.

No entanto, esta analogia não vai além da teoria, porque nos materiais fibrosos, usualmente é adicionada uma grande quantidade de fibras curtas com disposição aleatória. Sendo, neste caso, a interação entre as fibras e a matriz o primeiro fator que determina o comportamento do compósito (AGOPYAN, 1982).

#### **4.2.1 Produção de materiais fibrosos**

Existem diversos métodos para a produção de materiais reforçados com fibras. SANTOS (1988) descreve dois métodos utilizados:

- **Método de jateamento**

Foi desenvolvido na Inglaterra pelo Building Research Station, e é similar ao processo adotado na indústria de plásticos reforçados com fibras de vidro. Basicamente a pasta da matriz e as fibras são jateadas na fôrma, sendo o excesso de água removido por sucção.

A remoção do excesso de água permite produzir compósitos de melhor desempenho mecânico. Também este método permite o uso de um maior volume de fibras sem o problema de ocorrer empelotamento das mesmas.

A orientação das fibras na matriz é bidimensional, sendo possível utilizar fibras com até 50mm de comprimento e com volume proporcional de adição de até 10% em massa.

Devido ao custo elevado para sua utilização, este processo de produção não apresenta grande aceitação.

- **Método da pré-mistura**

Este método é mais simples e de custo inferior ao de jateamento. Consiste em colocar todos os componentes em um misturador mecânico e moldar as peças com o material já misturado.

Este processo confere menores resistências aos compósitos em comparação ao método de jateamento.

Tem como inconveniente a limitação para o volume e o comprimento das fibras a serem misturadas, exigindo maiores relações água/aglomerante, comprometendo a resistência mecânica do compósito, além de implicar uma orientação aleatória (tridimensional) das fibras na matriz.

#### **4.2.2 Aderência fibra-matriz**

A fratura do compósito ocorre quando um dos componentes falha e o outro não sustenta o esforço a que está sendo submetido. No entanto, nos materiais reforçados com fibras, são estas que, via de regra, possuem resistência superior à da matriz, suportando os esforços, e a matriz, por sua fragilidade, sofre múltiplas fraturas.

As fibras necessitam então de uma ancoragem mínima para suportar a falha da matriz.

Assim, a determinação da aderência que ocorre entre as fibras e a matriz é um fator importante na correlação entre a transferência de esforços na interface fibra-matriz e as propriedades mecânicas do compósito, pois é o comportamento da interface fibra-matriz que define o comportamento do compósito final.

Segundo AGOPYAN (1982), o mecanismo de aderência da matriz-fibra pode ser explicado por aderência química, física ou ambas.

Mesmo que o mecanismo de aderência entre as fibras e a matriz seja um ponto essencial ao estudo do comportamento do compósito, na prática, os valores de aderência não são simples de medir através das técnicas desenvolvidas, tendo em vista a complexidade de fatores envolvidos, como forma de mistura, quantidade e disposição das fibras, fator água/aglomerante, etc.

Os modelos teóricos existentes não conseguem interpretar os fenômenos complexos que ocorrem na interface fibra-matriz durante a aplicação de carregamentos mecânicos, assunto intensamente pesquisado.

AGOPYAN (1991) descreve seis modelos teóricos que estudam o comportamento da interface fibra-matriz e conclui que todos apresentam abordagens válidas, mas, no entanto, nenhum é suficientemente consistente para abranger todos os mecanismos que acontecem nestes materiais durante a aplicação de carga.

Os valores assim obtidos são difíceis serem reproduzíveis, pois são diretamente influenciados pela mistura, compactação, cura e quantidade de fibra adicionada no compósito.

#### **4.2.3 Comportamento dos compósitos fibrosos**

A adição de fibras de alta resistência mecânica e módulo de elasticidade superior ao da matriz permite produzir compósitos com maior módulo de elasticidade e alta resistência à flexão e ao impacto, aumentando sua tenacidade pelo crescimento da energia absorvida até a ruptura do compósito.

Já a adição de fibras de baixo módulo de elasticidade pode reduzir as propriedades estáticas, mas sempre melhora significativamente a resistência a cargas dinâmicas (impactos) e o comportamento pós-fissuração.

- **Fissuração**

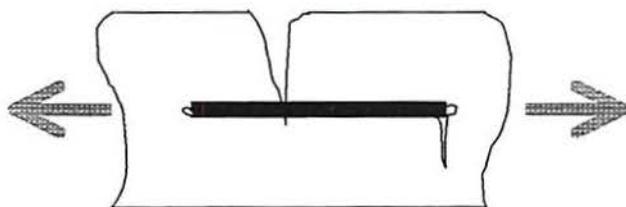
O maior benefício obtido por reforçar uma matriz frágil com fibras é alterar seu comportamento após a fissuração.

A presença de fibras diminui a velocidade de propagação das fissuras, considerando que para uma fissura transpor uma fibra exige-se um trabalho adicional na deformação, como o arrancamento ou a ruptura dessa fibra.

Em estágios avançados de fissuração, devido a cargas estáticas ou dinâmicas, as fibras unem as partes separadas pelas fissuras, evitando rupturas bruscas e conferindo ductilidade ao compósito, que, ao invés de romper-se imediatamente após o início da fissuração da matriz, pode apresentar uma deformação plástica considerável, tornando-se um material mais adequado para uso na construção civil.

Assim, os compósitos fibrosos resistem melhor aos esforços de manuseio e uso que os materiais frágeis, ainda que eventualmente possuam resistência à tração e flexão inferiores à da matriz original (JOHN, 1997).

O emprego de fibras também reduz o risco da fissuração devido à retração por secagem de matrizes. Este efeito é notável mesmo quando se empregam fibras de baixo módulo de elasticidade como as plásticas e as vegetais (AGOPYAN, 1991; JOHN, 1997).



**Figura 4.1** Representação do efeito das fibras na fissuração da matriz frágil

Em um estudo sobre fissuração dos materiais fibrosos, SAVASTANO Jr et alli (1994) propuseram a aplicação da teoria de Griffith, segundo a qual as fissuras têm início em falhas do compósito, sendo limitadas, em sua propagação, pela presença das fibras. A partir do

estágio no qual estas fissuras começam a se aglutinar, a soma de seus efeitos exerce influência sobre a tenacidade, em decorrência das grandes deformações sofridas pelo material.

Tem-se, nesse caso, uma justificativa para o aumento de ductilidade conferido pelas fibras, pois estas são responsáveis pela incorporação de vazios e descontinuidade, que aumentam a energia absorvida durante a fissuração, ao mesmo tempo limitando sua propagação.

Durante um carregamento, a energia é dissipada por várias razões, sendo as principais citadas por AGOPYAN (1991):

- a matriz e as fibras absorvem energia antes de ocorrer a fissuração;
- assumindo que múltiplas fissuras ocorrem na matriz, após a primeira fissura há uma dissipação de energia devido ao trabalho da superfície da fissura e o descolamento e escorregamento das fibras.

- **Resistência mecânica à tração**

A tensão em que ocorre a primeira fissura da matriz costuma aumentar com a aderência, e ainda com a relação comprimento/diâmetro e concentração das fibras. Com a elevação da aderência, obtém-se acréscimo da resistência à tração na fase elástica de sollicitação, enquanto que baixa aderência acarretará baixa resistência à tração.

- **Resistência mecânica à compressão**

A resistência à compressão da matriz não é acrescida pela adição de fibras. Algumas vezes é até reduzida devido ao aumento de porosidade.

Embora tal resistência possa ser menor, o comportamento do compósito fibroso difere totalmente do da matriz quando atinge a carga máxima por apresentar maior ductilidade.

Entretanto, esta propriedade nos materiais reforçados com fibras não tem sido muito estudada.

- **Resistência mecânica ao impacto**

As rupturas por cargas dinâmicas/impactos - solicitações muito breves e, via de regra repetitivas - dependem muito da velocidade de propagação das fissuras e da energia despendida na sua formação.

A baixa aderência (ou aderência descontínua) na interface fibra-matriz pode ser uma vantagem porque a energia é dissipada ao longo da interface fibra-matriz com um efeito amortecedor, absorvendo a energia pela vibração das fibras, desde que a aderência não seja contínua ao longo do comprimento da fibra.

Como exemplo, o fibrocimento, ao contrário do fibrogesso, apresenta uma aderência contínua na interface fibra-matriz, ou seja, a interação entre as fibras e a matriz é maior, o que conduz a uma fragilidade do material e ao decréscimo de sua resistência no estágio pós-fissura (SANTOS, 1988).

A resistência ao impacto é uma das propriedades mais incrementadas com o uso de fibras e, no entanto, ainda é muito difícil comparar os resultados aplicados por pesquisadores, pois o ensaio depende de muitas variáveis, como: tipo de equipamento, energia aplicada, velocidade de aplicação, massa de impacto, mistura do compósito, tamanho do corpo-de-prova, etc.

### **4.3 PRINCIPAIS TIPOS DE FIBRAS UTILIZADAS EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**

As fibras utilizadas para reforço de matrizes frágeis em materiais de construção civil têm várias origens. Dentre os tipos de fibras encontrados na bibliografia, podemos citar as metálicas, de vidro e as vegetais (de coco, de madeira, de bambu etc.).

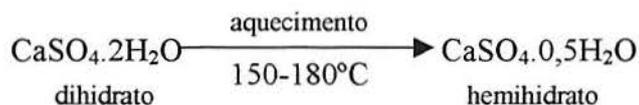
Muitas dessas fibras já são empregadas em componentes comercializados e apresentam bom desempenho. Vários estudos em andamento apresentam resultados parciais promissores, podendo, mais tarde, ter aplicação efetiva.

Entretanto, os compósitos reforçados com fibras devem ser investigados na prática, pois os modelos teóricos até então são válidos, mas não podem ser aplicados para explicar o comportamento destes compósitos, devido a complexidade e características particulares de cada caso.

#### 4.4 FIBROGESSO

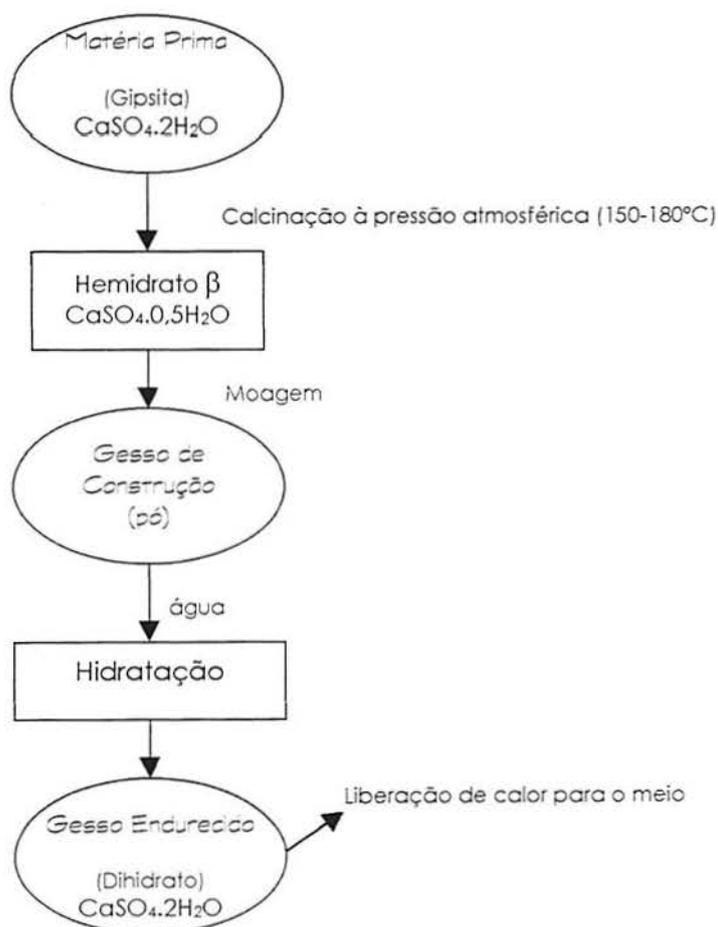
O gesso é um aglomerante inorgânico que tem como matéria prima a gipsita, que é um mineral encontrado na natureza do tipo sulfatos, cuja fórmula química é  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (sulfato de cálcio dihidratado).

Sua obtenção é a partir da calcinação da matéria prima através de aquecimento direto, resultando num sulfato de cálcio hemihidratado:



Quando o pó de gesso (hemidrato moído) é misturado com água suficiente, forma uma pasta homogênea, consistente e trabalhável. Com a hidratação, a pasta passa a ter mais resistência e resulta em um sulfato de cálcio dihidratado (gesso endurecido).

A Figura 4.2 apresenta a relação entre a matéria prima e o gesso endurecido:



**Figura 4.2** - Etapas do processamento do gesso de construção

O gesso apresenta características vantajosas para aplicação em materiais de construção com características particularmente interessantes tais como: pega e endurecimentos rápidos, plasticidade da pasta, lisura superfície endurecida e estabilidade volumétrica. (CINCOTTO, et alli, 1988).

SOUZA (1995) apud SILVA et alli (1998) aponta a possibilidade de redução na relação custo/benefício da edificação em decorrência da leveza dos sistemas de gesso. Tal característica torna as fundações e estrutura do prédio mais econômicas, bem como ocasiona uma diminuição nos prazos de execução da obra, possibilitando um menor tempo de imobilização do investimento.

Além desses aspectos vantajosos devido às características particulares deste produto, CINCOTTO et alli (1988) cita o baixo consumo de energia para a fabricação do gesso em comparação a outros aglomerantes, sendo que o gesso necessita raramente temperaturas superiores à 300°C para sua calcinação, enquanto que o clínquer do cimento Portland requer temperatura em torno de 1450°C e a cal entre 800° e 1100°C.

Uma deficiência do gesso está em sua excessiva fragilidade.

Como objetivo de torná-lo mais dúctil, o gesso tem sido reforçado com fibras há muito tempo, pois o reforço de matriz de gesso com fibras de sisal, por exemplo, tem uso consagrado tradicional. No entanto, este uso foi por muito tempo empírico, sendo que os primeiros estudos científicos só ocorreram na década de 70 e novas propostas de aplicações surgiram nos últimos anos (AGOPYAN, 1982).

Por ser um material solúvel, as propriedades mecânicas do gesso decrescem substancialmente em contato com a água ou umidade elevada.

Este comportamento restringe o uso de gesso para fins estruturais e ambientes expostos à interperie, ou úmidos, a menos que seja protegido por outros materiais. Os efeitos de um ambiente úmido no fibrogesso ainda não foram adequadamente investigados.

- **Considerações sobre a matéria-prima**

De acordo com os dados colhidos no Sumário Mineral Nacional de 1997, o Brasil é o país com maior volume de reservas, entretanto está entre os menores produtores e consumidores de gipsita. Os Estados Unidos são os maiores produtores e consumidores mundiais de gipsita, sendo a sua produção bastante superior à dos outros países que mais produzem: China, Tailândia, Irã e Canadá, conforme é mostrado na tabela 4.1.

**Tabela 4.1** - Oferta mundial de reservas de gipsita em 1996, conforme fonte do Departamento Nacional de Produção Mineral- Divisão de Economia Mineral, e Mineral Commodity Summaries - 1997

País	Reserva (10 <sup>3</sup> )T	Produção		País	Reserva (10 <sup>3</sup> )T	Produção	
		(10 <sup>3</sup> )T	(%)			(10 <sup>3</sup> )T	(%)
Brasil	1.080.728	1.048	1,00	Irã	*	8.500	8,50
EUA	700.000	17.000	17,00	Itália	*	1.200	1,20
Austrália	*	2.100	2,10	Japão	*	4.000	4,00
Canadá	450.000	8.200	8,20	México	*	5.000	5,00
China	*	12.000	12,00	Espanha	*	7.500	7,50
Egito	*	1.200	1,20	Tailândia	*	8.600	8,60
França	*	5.000	5,00	Grã-Bretanha	*	2.800	2,80
Índia	*	1.900	1,90	Outros Países	*	13.000	13,00

\* dados não disponíveis

Conforme AGOPYAN (1997), sob o ponto de vista técnico, o gesso é um aglomerante ainda desconhecido pela maioria dos profissionais brasileiros da construção civil, e talvez por isso tem um consumo desprezível comparado com outros aglomerantes, apesar de ter propriedades muito interessantes para vários usos na construção.

O pequeno consumo nacional de gesso não reflete o grande volume de reservas de gipsita disponíveis no Brasil, e por isso vem despertando o interesse de grandes empresas multinacionais, sendo um alento para o aumento do consumo deste material e de componentes a curto e médio prazo, podendo trazer desenvolvimento econômico e social para regiões menos privilegiadas do Brasil, como o sertão dos Estados da Bahia, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Ceará.

## Capítulo 5

# MATERIAIS - SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

### 5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo será apresentada a caracterização química, física e de microestrutura dos materiais selecionados para serem empregados na etapa experimental do trabalho.

A metodologia adotada segue basicamente a metodologia para pesquisa e desenvolvimento de reciclagem de resíduos como material de construção, apresentada por JOHN (1999), que consiste em:

- caracterização física, química e da microestrutura do resíduo, incluindo seu risco ambiental;
- avaliação quantitativa de resíduo disponível;
- moldagem de compósitos com a adição de resíduos;<sup>1</sup>
- caracterização do compósito resultante;<sup>1</sup>
- busca de possíveis aplicações dentro da construção civil, considerando as características do resíduo e do compósito resultante.<sup>2</sup>

Todos os experimentos foram realizados nos Laboratórios da UNISINOS, com exceção da caracterização química do gesso e a caracterização química e análise microscópica dos resíduos, que foram realizados no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e no Centro de Microscopia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, respectivamente.

---

<sup>1</sup> Etapas descritas no Capítulo 6

<sup>2</sup> Apresentadas no Capítulo 7

## 5.2 GESSO

### 5.2.1 Seleção do gesso

Os critérios inicialmente estabelecidos para selecionar o gesso utilizado como matriz do compósito foram: produto nacional, disponível no mercado e tempo de início de pega lento, permitindo a adição de resíduos e moldagem do compósito sem o uso de aditivos retardadores.

Para atender os critérios estabelecidos, foram testados dois tipos de gesso comercializados no mercado, tidos como “gessos lentos”, ambos provenientes da Região de Araripina - PE.

Os ensaios realizados para selecionar o gesso foram os previstos pela MB 3469/91 “Consistência normal” e “Tempo de pega”, permitindo distinguir qual apresenta características mais apropriadas.

Os resultados destes ensaios são apresentados nas tabelas 5.1 e 5.2.

**Tabela 5.1** – Determinação da consistência normal

Tipo de gesso	Relação Água/Gesso (em massa)	Tempo de mistura (min)	Profundidade de penetração do cone (mm)
Gesso 1	0,57	1,5	31,5
Gesso 2	0,58	1,5	28,0

**Tabela 5.2**– Determinação dos tempos de início e fim de pega

Tipo de gesso	Início de pega (min)	Profundidade de penetração (mm)	Fim de pega (min)	Profundidade de penetração (mm)
Gesso 1	22	3,9	35	0,0
Gesso 2	15,5	3,9	28	0,0

Com os resultados obtidos, pode-se verificar que o “Gesso 1” requer uma relação água/gesso 0,57 para adquirir a consistência normal, sendo que o início de pega se dá aos 22min e o final aos 35min, enquanto que o “Gesso 2” necessita de uma relação água/gesso 0,58 e o início de pega e dá aos 15min e 30seg, e o final aos 28min.

O “Gesso 1”, que comercialmente é conhecido por “Gesso Sublime”, foi selecionado para o trabalho por possuir maior tempo de início de pega.

### 5.2.2 Análise química do gesso selecionado

A caracterização química do gesso selecionado foi realizada no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT - Laboratório de Química dos Materiais.

Os resultados são apresentados no Relatório de Ensaio nº 862 690, os quais são transcritos nas Tabelas 5.3, 5.4 e 5.5.

**Tabela 5.3** - Resultados da análise química do gesso

Ensaio Químico	Resultados (%)
Água Livre	0,94
Água Combinada*	4,56
Insolúveis em ácido clorídrico (RI + SiO <sub>2</sub> )*	1,24
Oxido de ferro e alumínio (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )*	0,10
Oxido de cálcio (CaO)*	38,50
Oxido de magnésio (MgO)*	0,13
Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )*	54,30

\* ensaios realizados em amostra isenta de água livre

**Tabela 5.4**- Composição mineral do gesso, calculada a partir da análise química

Ensaio Químico	Resultados (%)
Hemidrato (CaSO <sub>4</sub> . 1/2 H <sub>2</sub> O)	73,60
Anidrita (CaSO <sub>4</sub> )	23,40
Carbonato de cálcio (CaCO <sub>3</sub> )	0,36
Carbonato de magnésio (MgCO <sub>3</sub> )	0,27
Impurezas (RI + SiO <sub>2</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1,34
Oxido de cálcio em excesso (CaO)	0,29

**Tabela 5.5** - Resultados de pH, (Cl<sup>-</sup>) solúvel, CO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e Flúor (F)

Ensaio Químico	Resultados (%)
PH (à 28,4°C)*	5,60
Cloreto (Cl <sup>-</sup> )*	nd
Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> )*	0,30
Anidrido fosfórico (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )*	0,02
Flúor (F)	<0,04

\* ensaios realizados em amostra isenta de água livre

nd - não detectado

## 5.3 RESÍDUOS DE CONTRAFORTES

### 5.3.1 Avaliação quantitativa da geração de resíduos

Esta etapa do trabalho foi muito dificultada pela inexistência de dados das empresas referentes à produção efetiva de contrafortes.

Assim, foi avaliado o potencial de geração de resíduos, buscando identificar o volume de resíduos gerado na operação de corte das placas de contraforte.

A análise realizada procurou verificar o percentual de perda sobre cada placa de contraforte, sendo que a metodologia adotada foi a medição, em massa, de resíduos de placas logo após o corte de alguns modelos de peças de contraforte em balancim de comando manual.

Foram escolhidos dois tipos de placas de contrafortes, que segundo informações das empresas, são as mais consumidas pelo mercado, identificadas pelos códigos SC 150 e SC 155.

Para utilização da massa das placas antes da operação de corte, foi determinado a massa de seis placa de cada tipo, determinando-se a média das massas verificadas, apresentadas a seguir:

- SC 150 - 855,00 g/placa
- SC 155 - 1.104,00 g/placa

A infinidade de formas de navalhas decorrente dos diversos tipos e tamanho de sapatos não permite chegar a um valor exato da quantidade de resíduo gerada.

Neste estudo, as navalhas para a realização do corte das peças para o ensaio foram escolhidas de forma aleatória, amostrando peças de contraforte utilizadas em calçados de tamanho pequeno, médio e grande, sendo que para cada tamanho foram escolhidos quatro tipos de navalhas.

O corte foi realizado segundo os critérios de maximização de peças por placa, mudando-se para cada conjunto placa/navalha ensaiado o sentido da colocação das navalhas, uma vez no sentido horizontal e a outra no sentido vertical. Após o corte, o resíduo foi pesado, verificando-se qual o percentual restante de material em comparação com a placa antes do corte. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.6.

**Tabela 5.6** - Quantidade de resíduo gerado no corte das placas, segundo tipos de navalhas e sentidos de cortes diferentes.

Tamanho da navalha	Placa SC 150 - 855g				Placa SC 155 - 1.104g			
	Corte Horizontal Resíduo (g)	%	Corte Vertical Resíduo (g)	%	Corte Horizontal Resíduo (g)	%	Corte Vertical Resíduo (g)	%
Pequena	196,5	23,0	174,4	20,4	202,0	18,3	143,7	13,0
Media	198,5	23,2	177,7	20,8	244,6	22,2	189,1	17,1
Grande	175,4	20,5	156,2	18,3	238,6	21,6	221,1	20,0

Os resultados da Tabela 5.6 mostram percentuais de resíduo de 13% a 23,2% em relação ao material base (placa). Ou seja, até um quinto do material não pode ser aproveitado para a confecção das peças de contrafortes, se tornando um resíduo sólido para a empresa, sem, até o momento, possibilidade de reciclagem no processo industrial. (Ver Figuras 3.3 a 3.8)

Os altos percentuais de resíduos verificados neste estudo permitem estimar que é gerada uma quantidade significativa de resíduos, pois, sabe-se que a produção de placas de contraforte é alta, ainda que este dado não é fornecido pelas empresas fabricantes, tendo em vista o uso deste componente em todo o tipo de calçado fechado na região do calcanhar.

As empresas fabricantes de contrafortes estimam que é gerada cerca de 80ton por mês na Região do Vale do Sinos de resíduos na operação de corte das peças de contrafortes.

### 5.3.2 Determinação do nível de periculosidade dos resíduos

A determinação do nível de periculosidade dos resíduos selecionados pelo projeto de pesquisa foi realizada através de ensaios de determinação das propriedades químicas, especificadas nas Normas Brasileiras, com o objetivo de classificar os resíduos quanto à sua periculosidade (riscos ao meio ambiente e à saúde pública).

Os ensaios foram realizados no Centro de Ecologia da UFRGS, baseados nas Normas técnicas NBR 10.004 - Resíduos Sólidos, NBR 10.005 - Lixiviação de Resíduos, e NBR 10.006 - Solubilização de Resíduos.

A caracterização química resultou na classificação dos resíduos de contraforte como pertencentes à classe II - resíduos não inertes, que segundo a NBR 10.004 “*podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água*”.

Os resultados obtidos e os teores máximos permitidos pelas Normas para cada elemento determinado são apresentados na Tabela 5.7.

**Tabela 5.7** - Resultados dos ensaio de Lixiviação e Solubilização obtidos pelo Centro de Ecologia da UFRGS

Parâmetro	LIXIVIAÇÃO			SOLUBILIZAÇÃO		
	Máx Permitido mg/l	CTL mg/l	CTI mg/l	Máx Permitido mg/l	CTL mg/l	CTI mg/l
Arsênio (As)	5,00	0,0102	0,0098	0,05	0,0128	0,0104
Alumínio (Al)	-	-	-	0,20	0,1730	0,0398
Bário (Ba)	100,00	0,0076	0,0147	1,00	0,0193	Nd
Cádmio (Cd)	0,50	0,0001	-	0,005	0,0003	-
Chumbo (Pb)	5,00	0,0019	0,0054	0,05	0,0064	0,0085
Cianeto	-	-	-	0,10	Nd	Nd
Cloreto	-	-	-	250,00	2,4800	16,2000
Cobre (Cu)	-	-	-	1,00	0,0027	0,0045
Cromo (Cr)	5,00	0,0008	0,0007	0,05	0,0006	0,0016
Dureza	-	-	-	500,00	22,7000	74,700
Fenol	-	-	-	0,001	0,1300	0,3800
Ferro (Fe)	-	-	-	0,30	0,0674	0,0668
Fluoreto	150,00	0,4800	0,1300	1,50	Nd	Nd
Manganês	-	-	-	0,10	0,0255	0,0190
Mercurio (Hg)	0,10	Nd	0,0001	0,001	Nd	0,0002
Nitratos	-	-	-	10,00	Nd	0,5000
Prata (Ag)	5,00	Nd	Nd	-	Nd	Nd
Selênio (Se)	1,00	0,0021	0,0016	-	0,0027	0,0010
Sódio (Na)	-	-	-	200,00	66,0000	248,0000
Sulfato	-	-	-	400,00	7,1400	144,8000
Surfactantes	-	-	-	0,20	4,1000	6,9000
Zinco (Zn)	-	-	-	5,00	4,2000	0,0410

CTL - contraforte termoplástico laminado

CTI - contraforte termoplástico impregnado

Nd - não detectado

Esta caracterização permite verificar que, na grande maioria dos elementos, as quantidades encontradas nas amostras de resíduos de contrafortes estão abaixo dos limites especificados pela norma para lixiviação e solubilização.

Os elementos que se encontram em quantidade superior à permitida pela norma são o Fenol, Sódio (Na) e Surfactantes (detergentes), que se caracterizam por não ser biodegradáveis. A presença destes elementos nas quantidades encontradas não tornam os resíduos de contrafortes tóxicos ou impróprios para uso em material de construção civil.

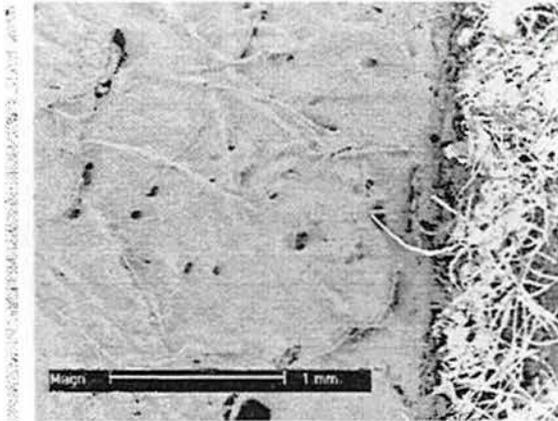
### 5.3.3 Caracterização da microestrutura

A microestrutura dos resíduos foi analisada com auxílio de microscópio eletrônico de varredura (MEV) com imagens de elétrons secundários. O equipamento utilizado foi o JEOL JSM 5800, pertencente ao Centro de Microscopia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O aumento empregado foi de 35 vezes com distância de trabalho (distância entre a abertura da objetiva e o corpo de prova) de 3,77mm, e tensão aceleradora de 10kV.

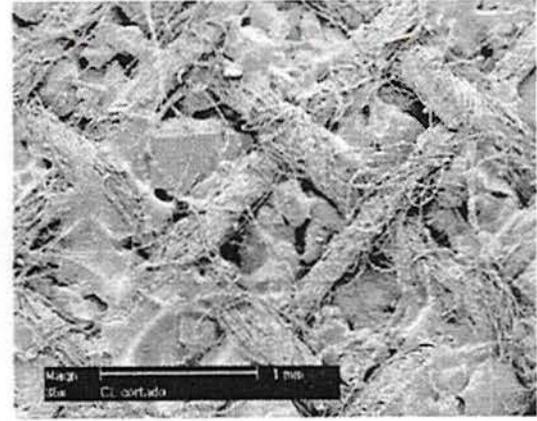
A análise com imagem de elétrons secundários fornece micrografias em três dimensões, pois são feitas sobre superfície de fratura com recobrimento de material condutor, no caso, metalização com ouro.

Nesta etapa do trabalho, procurou-se analisar o material antes e após a moagem em moinho de facas, verificando se o processo de moagem modifica as características da estrutura do material. Foram preparadas quatro amostras para análise:

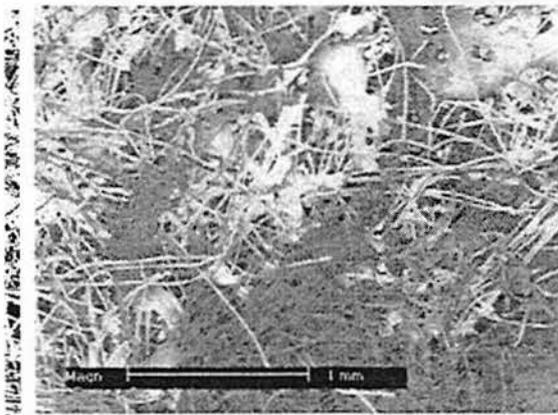
- amostra de placa de contraforte termoplástico impregnado (CTI), Figura 5.1;
- amostra de placa de contraforte termoplástico laminado (CTL), Figura 5.2;
- amostra de resíduo de contraforte termoplástico impregnado moído, Figura 5.3;
- amostra de resíduo de contraforte termoplástico laminado moído, Figura 5.4;



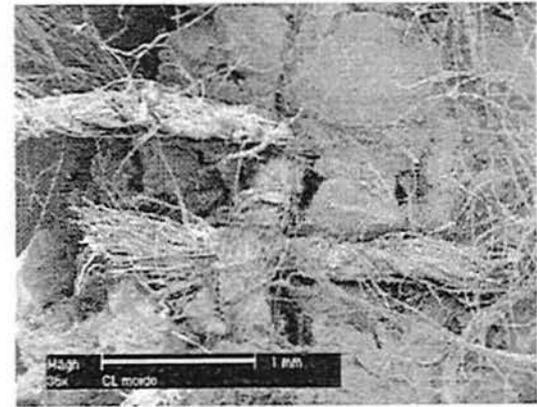
**Figura 5.1** Contraforte Termoplástico Impregnado. Aumento 35 x em MEV.



**Figura 5.2** Contraforte Termoplástico Laminado. Aumento 35 x em MEV.



**Figura 5.3** Contraforte Termoplástico Impregnado moído. Aumento 35 x em MEV.



**Figura 5.4** Contraforte Termoplástico Laminado moído. Aumento 35 x em MEV.

A Figura 5.1 permite observar a microestrutura da placa de contraforte termoplástico impregnado, que é formada por uma manta não tecida com fibras dispostas de forma aleatória, impregnada em resinas sintéticas. Observa-se que na superfície de análise é possível identificar algumas fibras sem orientação, embebidas na resina, que forma uma película contínua.

A imagem da Figura 5.2 mostra a microestrutura do contraforte termoplástico laminado. Vê-se nitidamente a estrutura deste material que é um tecido laminado por resina.

O desenho padrão do tecido é facilmente identificado, formado por fios (obtidos por fibras torcidas) entrelaçados entre si. Neste caso, a resina de laminação está, na maior parte, no espaço entre o entrelaçamento dos fios.

As Figuras 5.3 e 5.4 mostram a estrutura dos materiais após a moagem, que é realizada em moinho de facas visando adicioná-los posteriormente na matriz de gesso. Em ambos os casos, fica evidenciado que a estrutura é alterada em decorrência da moagem sofrida.

O contraforte termoplástico impregnado moído, mostrado na Figura 5.3, apresenta grande exposição das fibras desorientadas devido à “quebra” da resina de impregnação, que deixa de formar uma película contínua, descaracterizando totalmente a estrutura original do material da placa visualizada na Figura 5.1.

A moagem do contraforte termoplástico laminado (Figura 5.4), também provoca alteração na estrutura do material, percebendo-se desorientação das fibras que formam os fios do tecido. No entanto, a alteração da estrutura deste material parece ser menor, pois ainda é possível identificar, numa parte da amostra, a orientação dos fios do tecido.

A análise microscópica dos materiais permite constatar a diferença de estrutura dos dois tipos de contraforte entre si, seja antes ou após a moagem, levando à expectativa de distinto comportamento dos compósitos com adição de resíduo de contraforte termoplástico impregnado com os compósitos com adição de resíduos de contraforte termoplástico laminado.

### **5.3.4 Caracterização física dos resíduos**

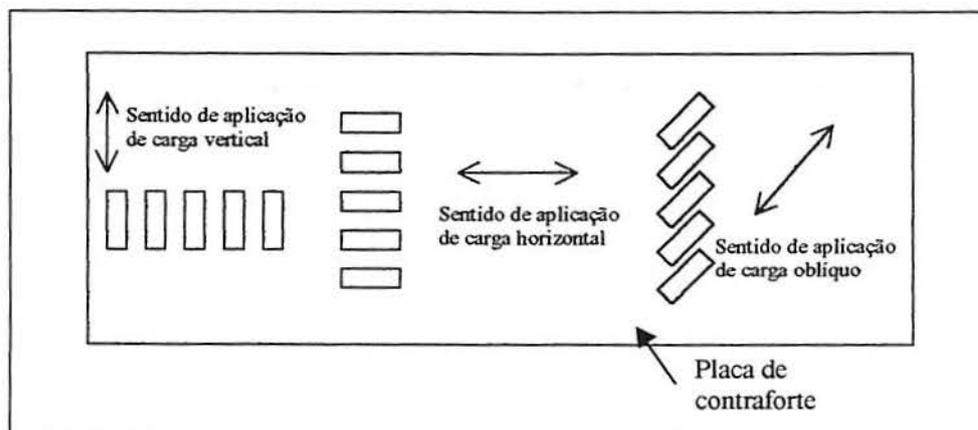
#### **5.3.4.1 Resistência à tração**

Os ensaios de caracterização da resistência à tração dos contrafortes foram realizados no Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins (CTCCA), baseados na norma DIN 53.328, uma vez que não existe Norma Brasileira específica.

Neste ensaio, os corpos de prova (contraforte cortado em tiras de 90 x 20mm, medidas externas) são submetidos a esforço de tração, com velocidade de alongamento de  $100 \pm 20$  mm/min, até a ruptura. A deformação no centro da área do corpo de prova é controlada, mediante determinação da espessura, com aproximação de 0,1mm, em seis pontos antes e após a realização do ensaio.

O ensaio foi realizado em 5 amostras de cada tipo de contraforte ensaiado, para cada sentido de carregamento: sentido vertical, horizontal e oblíquo nos contrafortes termoplástico

laminado, e vertical e horizontal nos contrafortes impregnados, conforme indicado na Figura 5.5.



**Figura 5.5** - Sentido de corte dos corpos de prova nas placas de contrafortes para a realização do ensaio de resistência à tração.

O limite de resistência a tração é determinada em  $N/mm^2$ , e o alongamento na ruptura é determinado em percentagem e calculado pela Equação 5.1

$$R = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$$

**Equação 5.1**

R = alongamento na ruptura, em %;

L = comprimento na ruptura, em mm;

$L_0$  = comprimento original, em mm.

As tabelas 5.8 e 5.9 demonstram os resultados de resistência à tração e o alongamento na ruptura obtidos.

**Tabela 5.8** - Resistência à tração e alongamento do Contraforte Termoplástico Laminado

CP	Sentido vertical		Sentido horizontal		Sentido oblíquo	
	Alongamento na ruptura (%)	Limite de resistência à tração ( $N/mm^2$ )	Alongamento na ruptura (%)	Limite de resistência à tração ( $N/mm^2$ )	Alongamento na ruptura (%)	Limite de resistência à tração ( $N/mm^2$ )
1	20	25,3	14	22,7	11	8,8
2	20	22,8	13	23,1	14	9,7
3	21	23,9	13	23,1	15	9,3
4	20	23,8	15	25,2	15	9,7
5	20	24,4	15	23,0	14	9,1
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>24,0</b>	<b>14</b>	<b>23,4</b>	<b>14</b>	<b>9,3</b>
CV	0,022	0,038	0,071	0,01	0,120	0,042

CV = coeficiente de variação

**Tabela 5.9** - Resistência à tração e alongamento do Contraforte Termoplástico Impregnado

CP	Sentido vertical		Sentido horizontal	
	Alongamento na ruptura (%)	Limite de resistência à tração (N/mm <sup>2</sup> )	Alongamento na ruptura (%)	Limite de resistência à tração (N/mm <sup>2</sup> )
1	28	9,1	31	14,6
2	29	10,2	30	14,9
3	28	10,6	30	15,7
4	27	9,1	27	14,8
5	28	10,1	29	14,6
<b>Média</b>	<b>28</b>	<b>9,8</b>	<b>29</b>	<b>14,9</b>
CV	0,025	0,070	0,052	0,030

CV = coeficiente de variação

Os resultados obtidos mostram que os contrafortes laminado e impregnado apresentam comportamento distinto quando submetidos ao ensaio.

Observa-se que o contraforte termoplástico laminado apresenta tensões de ruptura semelhantes quando a carga é aplicada nas direções vertical e horizontal, enquanto que na aplicação de carga no sentido oblíquo, as tensões de ruptura se apresentam inferiores, cerca de 60% menores. Apresenta maior alongamento no sentido vertical, e menor alongamento nos demais sentidos testados.

Tal comportamento pode ser explicado pelo material de estruturação deste tipo de contraforte que é composto por manta tecida, com disposição dos fios nos sentidos horizontal e vertical, correspondendo aos sentidos de aplicação do carregamento que apresentaram maiores tensões de ruptura. A disposição dos fios nas duas direções é facilmente identificada na Figura 5.2.

O contraforte termoplástico impregnado, por sua vez, apresenta praticamente igual alongamento em ambos sentidos de aplicação da carga, entretanto observam-se tensões de ruptura cerca de 50% maiores no carregamento horizontal, comparadas às tensões de ruptura apresentadas no carregamento vertical. Este fato contraria as expectativas anteriores à realização do ensaio, baseadas nos dados encontrados na bibliografia e na descrição do material de estrutura deste tipo de contraforte, tido como uma manta não tecida, manufaturada com fibras aleatoriamente distribuídas. Esta distribuição aleatória das fibras, sem orientação preferencial, não indica sentido de maior ou menor resistência à tração, levando a supor que o material resiste de forma similar quando solicitado em qualquer direção.

Tendo em vista os resultados obtidos, procurou-se o departamento técnico da empresa fabricante do material, o qual revelou informalmente que a manta utilizada para a fabricação dos contrafortes é manufaturada pelo processo de filamento contínuo, o qual “*induz de forma sensível*” a um direcionamento das fibras no sentido do comprimento do rolo, podendo, por isso, conferir maior resistência à tração quando o carregamento é realizado neste sentido.

A forma aleatória na qual o material é adicionado na matriz de gesso não permite conhecer de ante-mão o sentido de tração a que serão solicitados.

Sob este ponto de vista, os resultados obtidos mostram que ambos os tipos de contrafortes podem romper por tração quando submetidos a um carregamento superior a aproximadamente  $9\text{KN/mm}^2$ , e apresentam alongamento mínimo de 14%.

#### **5.3.4.2 Absorção de água**

O ensaio de absorção de água foi realizado em amostra de resíduo moído, forma na qual é utilizado como adição na matriz de gesso, tendo em vista que o processo de moagem provoca a “quebra” da película das resinas de impregnação e laminação dos contrafortes, expondo as fibras de estruturação, conforme verificado na análise microscópica.

Experimentalmente verificou-se que a exposição das fibras modifica de forma significativa o comportamento do material frente à absorção de água, se comparado à placa de contraforte, justificando a realização do ensaio em amostra de contraforte moído.

O ensaio realizado consiste na verificação ao longo do tempo do aumento médio de massa de três amostras dos contrafortes moídos imersas em água.

O equipamento utilizado foi uma balança hidrostática ligada a um *software* que registra a massa da amostra ensaiada nos tempos pré-determinados.

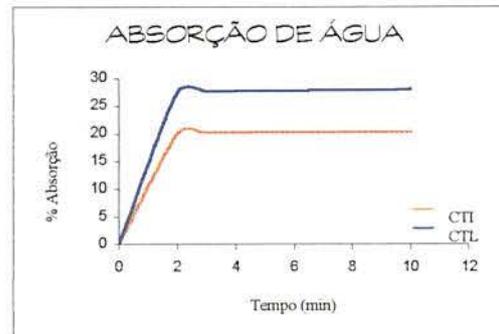
Verificou-se que as leituras registradas pelo equipamento até os primeiros dois minutos de ensaio não se mostraram confiáveis, devido à instabilidade da balança provocada pela colocação da amostra na água. Em consequência, o percentual de acréscimo de massa devido

à absorção de água em amostras imersas durante os dois primeiros minutos foi determinado diretamente.

A Tabela 5.10 e a Figura 5.6 mostram o comportamento dos materiais ao longo de dez minutos.

**Tabela 5.10** - Absorção das amostras de contrafortes impregnado e laminado

Acréscimo de massa das amostras (%)		
Tempo (min)	CTI (moído)	CTL (moído)
2	19,93	27,42
3	20,15	27,68
4	20,19	27,72
5	20,24	27,76
6	20,26	27,79
7	20,29	27,82
8	20,30	27,82
9	20,33	27,85
10	20,35	28,03



**Figura 5.6** Gráfico do percentual de absorção de água dos resíduos.

A Figura 5.6 permite concluir que os contrafortes moídos ensaiados apresentam comportamento muito semelhante.

Com a realização deste ensaio percebe-se que o contraforte termoplástico laminado moído absorve mais água, sendo que o percentual total de absorção até o final do ensaio é de 28,03%, enquanto que o percentual total de absorção do contraforte termoplástico impregnado moído é de 20,35% nas mesmas condições.

Em ambos, a absorção ocorre quase na sua totalidade nos dois primeiros minutos em contato com a água, concluindo-se que na moldagem do compósito, a absorção de água será no momento de mistura dos materiais.

### 5.3.5 Biodeterioração

Em qualquer processo de desenvolvimento de um novo componente, a durabilidade dos materiais é fator fundamental a ser considerado. O processo requer, no entanto, metodologia complexa e abordagem multidisciplinar. (JOHN et alli, 1997).

Foi solicitado ao Departamento de Biologia da UNISINOS - Laboratório de Genética, Setor de Insetos Sociais - um estudo sobre biodeterioração do material, visando identificar os tipos de fungos que poderiam se proliferar nos materiais em estudo e apontar alternativas de soluções para este tipo de deterioração, garantindo não comprometer a durabilidade do compósito a ser desenvolvido com a adição destes materiais.

Para realização deste estudo foram selecionados fungos encontrados com maior frequência em materiais sintéticos, em especial aqueles que podem deteriorar os resíduos de contraforte. Também foram cultivados outros tipos de fungos filamentosos identificados numa pesquisa sobre fungos incorporados por contaminação durante o processo de geração de resíduos de contrafortes. Foram colhidas amostras de contraforte para análise antes da operação do corte das peças, nos resíduos gerados logo após o corte e no resíduo estocado após a moagem. Foram analisadas amostras com contaminação aparente, observada em uma quantidade de resíduo depositada em local quente e úmido por vários meses.

O relatório emitido pelo Laboratório de Genética e Insetos Sociais com a descrição da metodologia empregada encontra-se no Anexo A.

Os métodos utilizados neste estudo foram: **a)** isolamento e identificação de fungos filamentosos de amostras de contrafortes; **b)** efeito da hidratação sobre amostras de contraforte; **c)** câmara tropical.

Constatou-se contaminação de diferentes microorganismos em todas as amostras analisadas, indicando que a mesma ocorre nas diferentes etapas do processo industrial de fabricação, corte e moagem de contraforte. Dentre os gêneros de fungos encontrados, os mais representativos foram *Trichoderma* e *Penicillium*, sendo que o último se desenvolveu inclusive crescendo sobre as amostras de contraforte laminado colhidas após a operação do corte.

Os fungos *Cladosporium* e *Penicillium* cresceram nas placas de Petri onde foram colocadas as amostras de contraforte laminado moído, porém não cresceram sobre as amostras.

Nas amostras de contraforte laminado colhidas antes da operação de corte, cresceram sobre elas os gêneros *Trichoderma*, *Fusarium*, *Nigrospora* e *Penicillium*.

Nas amostras de contraforte impregnado, o fungo que apresentou crescimento sobre as mesmas foi o *Rhizopus*, embora no meio de cultura tenham sido isolados *Cladosporium*, *Trichoderma* e uma bactéria do gênero *Streptomyces*.

Nas amostras de contraforte laminado com manchas características de fungos antes dos testes, desenvolveram-se, inclusive sobre as amostras, os fungos *Gliocadium* e *Penicillium*.

Nas demais amostras (sem contaminação aparente) estes fungos deveriam estar em fungistase (os esporos), pois assim que entraram em contato com o meio de cultura os mesmos começaram a desenvolver-se. O meio forneceu um substrato para os fungos e ao mesmo tempo um estímulo ao crescimento dos mesmos sobre a maioria das amostras.

A Tabela 5.11 apresenta a relação dos fungos isolados e identificados em placas com meio de cultura de batata-dextrose-ágar (BDA).

**Tabela 5.11** - Fungos isolados e identificados em placas com meio de cultura BDA.

Amostras de contraforte analisadas	Fungos identificados após a cultura	Local de crescimento	
		Meio de cultura	Sobre a amostra
Laminado, na forma de placa	<i>Penicillium</i> e <i>Trichoderma</i>	<i>P</i> e <i>T</i>	<i>P</i>
Laminado, após o corte das peças de contraforte	<i>Penicillium</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>Nigrospora</i> e <i>Fusarium</i>	<i>P</i> , <i>T</i> , <i>N</i> e <i>F</i>	<i>P</i> , <i>T</i> , <i>N</i> e <i>F</i>
Laminado, após a moagem	<i>Penicillium</i> e <i>Cladosporium</i>	<i>P</i> e <i>C</i>	-
Laminado, após a moagem com contaminação aparente	<i>Penicillium</i> e <i>Gliocadium</i>	<i>P</i> e <i>G</i>	<i>P</i> e <i>G</i>
Impregnado, na forma de placa	<i>Penicillium</i> , <i>Trichoderma</i> e <i>Aspergillus</i>	<i>P</i> , <i>T</i> e <i>A</i>	<i>T</i> e <i>A</i>
Impregnado, após moagem	<i>Trichoderma</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Cladosporium</i> e <i>Streptomyces</i> *	<i>T</i> , <i>R</i> , <i>C</i> e <i>S</i>	<i>R</i>

\**Streptomyces*: bactéria filamentososa Actinomiceto.

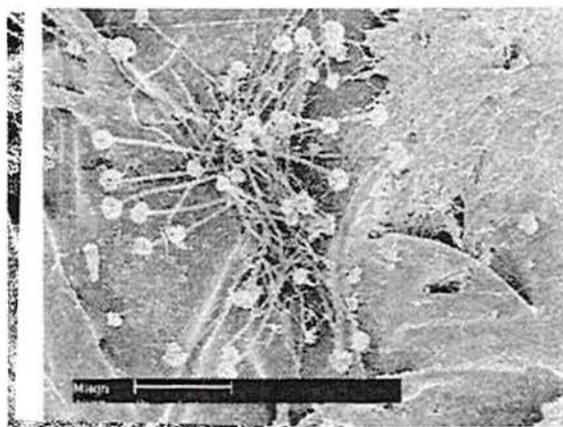
Foi constatado que nas amostras de contraforte impregnado e nas amostras de contraforte laminado colhidas após a moagem houve crescimento de fungos sobre o papel filtro da câmara úmida, entretanto sobre as amostras em si, o crescimento dos fungos não foi expressivo. Ficou evidente que o aumento da umidade e da temperatura favoreceram o crescimento dos referidos fungos.

Após dezessete dias de exposição em câmara tropical foi averiguada ocorrência de manchas causadas por fungos em todas as amostras. Verificou-se também que há uma diferença expressiva no tipo de fungo e na velocidade de crescimento entre os dois tipos de contrafortes analisados.

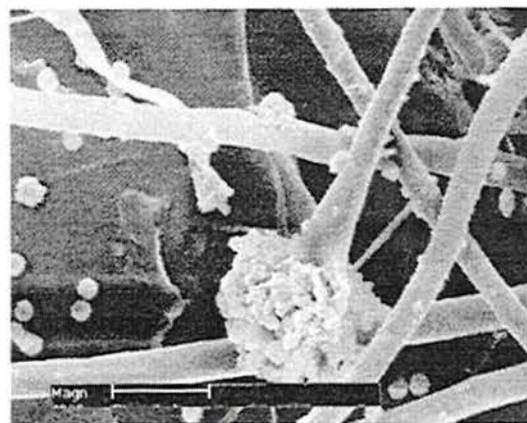
#### 5.3.5.1 Análise da biodeterioração por microscópio eletrônico de varredura

Utilizando-se o aparelho microscópico identificado no item 5.3, analisou-se a microestrutura de resíduos de contraforte impregnado com contaminação pelos fungos cultivados, buscando-se visualizar como ocorre a proliferação dos fungos no material.

As Figuras 5.7e 5.8 mostram o aspecto das amostras analisadas em aumentos de 200 e 2000 vezes, respectivamente.



**Figura 5.7** - Contraforte Termoplástico Impregnado com contaminação de fungo. Aumento 200x.



**Figura 5.8** - Contraforte Termoplástico Impregnado com contaminação de fungo. Aumento 2000x.

As imagens obtidas na análise microscópica permitem visualizar a ocorrência de fungos na amostra de contraforte impregnado analisada.

Como visualizado na Figura 5.8, com aumento da amostra contaminada de 2000 vezes, pode-se verificar que, aparentemente os fungos se desenvolvem em colônias, preferencialmente nas extremidades e superfície das fibras da manta de estruturação do material.

Nesta análise microscópica, não foi possível constatar danos visíveis na superfície da fibra da manta do contraforte, o que leva a pressupor que os microorganismos possam não comprometer as propriedades mecânicas do material.

No entanto, este estudo deve ser continuado, procurando identificar se há interação entre os microorganismos e as propriedades mecânicas do contraforte.

### **5.3.5.2 Fungicidas**

Qualquer proliferação de microorganismos no material é indesejada por prejudicar requisitos importantes ao compósito como o aspecto visual, a salubridade do usuário e a possibilidade de comprometer o desempenho mecânico do produto.

Uma solução apontada para inibir a proliferação dos fungos no resíduo foi a utilização de fungicidas sobre o resíduo na ocasião da mistura dos materiais para moldagem do compósito.

Foram testados o comportamento de quatro fungicidas, facilmente encontrados no mercado, utilizados pela indústria calçadista: Proxel GXL, Acticide WB 200, Acticide WB 600 e Óxido de Zinco.

Solicitou-se ao Laboratório de Genética e Insetos Sociais da UNISINOS uma estudo visando analisar a inibição da proliferação dos fungos isolados descritos no item 5.3.5 decorrente do uso destes fungicidas, utilizando-se as doses recomendadas pelos fabricantes dos fungicidas.

O relatório emitido pelo Laboratório de Genética e Insetos Sociais com a descrição da metodologia empregada encontra-se no Anexo A.

Os métodos utilizados neste estudo foram: **a)** teste em placa com meio de cultura batata-dextrose-ágar acrescido de fungicidas; **b)** teste em placa com meio de cultura batata-dextrose-

ágar e discos de papel filtro previamente embebidos em solução dos fungicidas; c) amostras embebidas nos fungicidas em câmara tropical.

Após seis meses de observação, concluiu-se que dentre os fungicidas testados, os que mais retardam a proliferação dos fungos nas amostras foram o Acticide WB200 e Acticide WB 600 (Letharim MK).

Entretanto, a partir do quinto mês de observação das amostras embebidas nos fungicidas em câmara tropical, observaram-se manchas de contaminação de fungos em todas as amostras.

A amostra mais sensível à ação dos fungos é a de contraforte termoplástico laminado em forma de placa, apresentando manchas de contaminação a partir do terceiro mês de observação, em todos os fungicidas testados.

As conclusões obtidas neste ensaio indicam que este estudo deve ser continuado, buscando-se novos fungicidas, ou outra solução mais eficaz na inibição da proliferação dos fungos.

## **5.4 ÁGUA**

Na moldagem dos compósitos foi utilizada água potável da rede de distribuição da cidade de São Leopoldo, na Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

## Capítulo 6

# MOLDAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO

### 6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo são apresentados o procedimento de mistura empregado na moldagem dos compósitos com adição dos resíduos e os resultados dos ensaios realizados para caracterização do compósito resultante.

### 6.2 ANÁLISE DO COMPÓSITO NO ESTADO FRESCO

A primeira etapa do estudo de dosagem teve como objetivo verificar experimentalmente as propriedades do compósito no estado fresco.

Com auxílio de argamassadeira mecânica, foram realizadas diversas moldagens em formas horizontais utilizando-se diferentes seqüências de mistura, teores de adição e granulometrias dos resíduos mantendo-se relação água/gesso determinada no ensaio de consistência normal do gesso. ( $a/g = 0,57$ ) Os teores de adição de resíduos testados foram de 5, 10, 15, 20, 25 e 30% em massa, em relação à massa de gesso, sendo que ambos resíduos foram moídos em duas faixas granulométricas distintas, com módulos de finura equivalentes a 4,3 e 5,9 respectivamente, determinados conforme a NBR 7211/83. Num segundo momento, foram realizadas outras moldagens, testando-se os mesmo itens, porém mantendo-se a relação água/gesso em 0,60 e 0,70, em função da necessidade de adequar a trabalhabilidade do compósito quando moldado em fôrmas mais complexas.

Já nos estudos iniciais, foi possível identificar que a mistura dos materiais é possível e a moldagem do compósito não exige tecnologia sofisticada.

Verificou-se que, dentre as seqüências de misturas testadas, o procedimento de mistura dos materiais se mostrou mais adequado misturando primeiramente a água e o resíduo moído por um minuto com agitação mecânica, depois adicionar o gesso, continuando a mistura mecânica por mais dois minutos.

A moldagem do compósito se mostrou possível empregando-se todas as relações água/gesso testadas para teores de adição de resíduos de até 25%, sendo que as relações a/g maiores conferem maior trabalhabilidade à pasta, principalmente em dias de moldagens de altas temperaturas.

Foi possível realizar moldagens nas fôrmas utilizadas neste estudo, com adição dos resíduos moídos nas duas granulometrias

O acabamento superficial no estado endurecido dos compósitos com adição de resíduos de granulometria com módulo de finura de 4,3, em teores de até 10% apresentaram superfície lisa. Na medida em que se aumenta o teor de adição e/ou a granulometria do resíduo, a superfície superior se mostrou rugosa, com as três as relações água/gesso testadas.

A fôrma utilizada com base de compensado naval e laterais móveis de alumínio, devidamente untada com óleo vegetal, apresenta fácil desmoldagem após quarenta e cinco minutos de cura.

### **6.3 ANÁLISE DO COMPÓSITO NO ESTADO ENDURECIDO**

Para estudar o comportamento mecânico do compósito foram realizados ensaios de resistência à compressão, ao impacto e à tração na flexão.

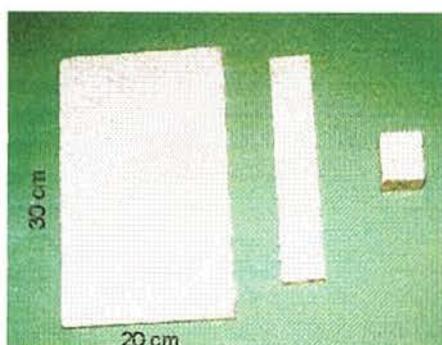
Para possibilitar comparações entre os resultados e analisar o comportamento frente às variáveis, todos os corpos-de-prova foram moldados observando-se os itens identificados na análise do compósito no estado fresco, mantendo-se o mesmo procedimento de mistura dos materiais, cura e desmoldagem, obedecendo a seqüência:

- 1) mistura dos materiais - água e resíduo - 1 minuto de agitação mecânica  
- adição do gesso - 2 minutos de agitação mecânica;
- 2) colocação da massa em forma untada com óleo vegetal;

- 3) adensamento com golpes de espátula (manual) ou através de vibração da forma em mesa vibratória (mecânico);
- 4) desmoldagem após 45 minutos da moldagem;
- 5) cura por 24h;
- 6) secagem em estufa a 35°C até estabilização da massa.

Foi realizado um estudo comparativo entre os resultados obtidos em ensaios mecânicos de corpos-de-prova secos ao ar com corpos-de-prova secos em estufa a 35±2°C, não havendo diferença significativa entre os resultados. Desta forma, optou-se por utilizar a secagem em estufa para todos os corpos-de-prova. A secagem dos corpos-de-prova foi realizada em estufa exclusivamente para agilizar a estabilização de massa dos elementos, tendo em vista a alta umidade relativa do ar, comum na região, que poderia atrasar a realização dos ensaios propriamente ditos.

A Figura 6.1 mostra os corpos-de-prova moldados para a realização dos ensaios mecânicos de resistência ao impacto, à tração na flexão e à compressão.



**Figura 6.1** - Corpos-de-prova moldados para a realização de ensaios mecânicos.

### **6.3.1 Resistência à compressão**

#### **6.3.1.1 Desenvolvimento do ensaio**

A resistência à compressão dos compósitos foi determinada de acordo com o especificado na MB 3470/91, em função da carga de ruptura de corpos-de-prova cúbicos com 5 cm de lado.

Neste ensaio analisou-se a influência das seguintes variáveis:

- teor de adição de resíduo (10%, 15% e 20%);
- tipo de resíduo (contraforte laminado e impregnado);
- adensamento (manual e mecânico);
- relação água/gesso (0,57, 0,60, 0,65 e 0,70).

Para cada variável estudada foram moldados três corpos-de-prova, visando a análise estatística do comportamento do compósito frente à realização do ensaio.

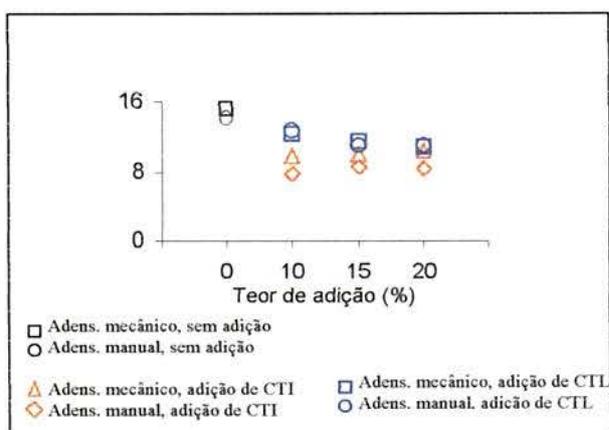
Os teores de adição testados neste ensaio se limitaram em 20% devido à dificuldade de moldar corpos-de-prova com teores maiores, tendo em vista as pequenas dimensões da fôrma utilizada neste ensaio. Por este motivo, também não foi verificada a influência da granulometria, devido à dificuldade de moldagem dos corpos-de-prova com adição de resíduos com MF=5,9.

### **6.3.1.2 Resultados Obtidos**

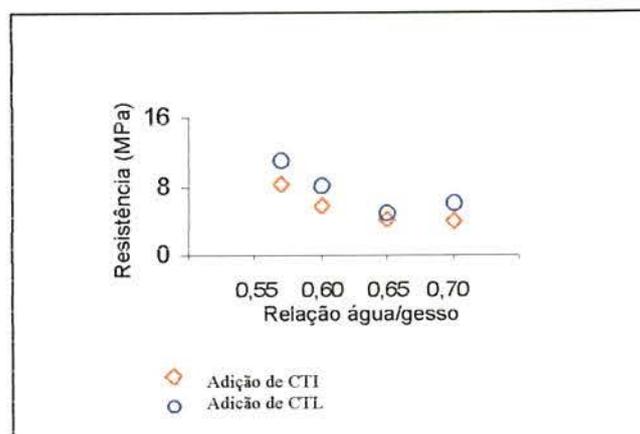
Os resultados obtidos em cada Corpo-de-prova ensaiado encontram-se na Tabela I, Anexo B.

A Figura 6.2 apresenta a média dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão dos corpos-de-prova moldados com relação  $a/g = 0,57$ , variando-se os teores de adição (0%, 10%, 15% e 20%), e a forma de adensamento (manual e mecânico).

A Figura 6.3 apresenta a média dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão de corpos-de-prova moldados com adição de 20%, variando-se a relação água/gesso (0,57, 0,60, 0,65 e 0,7).



**Figura 6.2** Resistência à compressão média das séries de corpos-de-prova com diferentes teores de adição de resíduos.



**Figura 6.3** Resistência à compressão média das séries de corpos-de-prova com diferentes relações água/gesso.

### 6.3.1.3 Análise dos resultados

Para identificar as diferenças entre os compósitos ensaiados foi realizada uma análise de variância dos resultados (ANOVA), considerando a influência das variáveis testadas. Foi estipulada confiabilidade de 95%.

Na Tabela 6.1 é apresentada a análise de variância da variável *teor de adição* nos compósitos moldados com resíduo de contraforte impregnado, resíduo de contraforte laminado, adensamento manual e adensamento mecânico. Os teores de adição analisados foram de 0% (sem adição), 10%, 15% e 20%.

**Tabela 6.1** - Análise de variância do teor de adição (0%, 10%, 15% e 20%).

Tipo de resíduo	Forma de adensamento	Média dos quadrados	F <sub>calculado</sub>	Graus de Liberdade	F <sub>tabelado-0,05</sub>	Significância
CTI	Manual	26,16	71,74	3	2,91	Significativo
CTI	Mecânico	20,28	41,05	3	2,91	Significativo
CTL	Manual	6,66	8,61	3	2,91	Significativo
CTL	Mecânico	11,14	21,35	3	2,91	Significativo

Verifica-se que a variância do teor de adição é significativa em todas as séries testadas, seja com adição de resíduos de contraforte impregnado ou laminado, com adensamento manual ou mecânico.

Procedeu-se à análise de variância desta variável, desconsiderando as séries moldadas sem adição de resíduos, procurando identificar se os teores de adição, propriamente ditos, possuem variância significativa.

Na Tabela 6.2 é apresentada a análise de variância da variável teor de adição nos compósitos moldados com resíduo de contraforte impregnado e laminado, adensamento manual e mecânico, e teores de adição de 10%, 15% e 20%.

**Tabela 6.2** - Análise de variância do teor de adição (10%, 15% e 20%).

<b>Tipo de resíduo</b>	<b>Forma de adensamento</b>	<b>Média dos quadrados</b>	<b>F<sub>calculado</sub></b>	<b>Graus de Liberdade</b>	<b>F<sub>tabelado-0,05</sub></b>	<b>Significância</b>
CTI	Manual	0,52	2,84	2	4,74	<b>Não Signif.</b>
CTI	Mecânico	0,32	5,18	2	4,74	<b>Significativo</b>
CTL	Manual	3,04	4,18	2	4,74	<b>Não Signif.</b>
CTL	Mecânico	1,6	13,62	2	4,74	<b>Significativo</b>

Esta análise permite observar que nas séries com adensamento manual o teor de adição de resíduos não apresenta variância significativa, independente do tipo de resíduo adicionado, enquanto que as séries com adensamento mecânico apresentam significativa variância nos teores de adição testados.

Com estas duas análises pode-se concluir que existe uma diferença significativa de resultados entre as séries sem adição e com adição de resíduos, sendo que as séries sem adição de resíduos apresentam resistência à compressão superior às séries com adição de resíduos (Figura 6.2). Por outro lado, foi observado que o teor de adição só influencia a resistência à compressão de forma significativa nas séries com adensamento mecânico, pois este é mais eficaz na expulsão do ar aprisionado na pasta (Tabela 6.2).

Na Tabela 6.3 é apresentada a análise da variância da variável *tipo de resíduo*.

**Tabela 6.3** - Análise de variância do tipo de resíduo (CTI e CTL)

<b>Forma de adensamento</b>	<b>Média dos quadrados</b>	<b>F<sub>calculado</sub></b>	<b>Graus de Liberdade</b>	<b>F<sub>tabelado-0,05</sub></b>	<b>Significância</b>
Manual	9,96	32,26	1	4,15	<b>Significativo</b>
Mecânico	0,26	8,72	1	4,15	<b>Significativo</b>

Verifica-se que o tipo de resíduo adicionado influencia, de maneira significativa a resistência à compressão do compósito, independente da forma de adensamento empregada.

Tal fato pode ser observado nas distintas resistências obtidas com os corpos-de-prova com adição de resíduos de contraforte termoplástico impregnado e com adição de resíduos de contraforte termoplástico laminado. As séries de corpos-de-prova com adição de resíduos de contraforte termoplástico laminado apresentaram maior resistência à compressão do que as séries de corpos-de-prova com adição de resíduos de contraforte termoplástico impregnado (Figura 6.2 e Tabela I do Anexo B).

A análise de variância da *forma de adensamento* é apresentada na Tabela 6.4.

**Tabela 6.4** - Análise de variância da forma de adensamento (manual e mecânico)

<b>Tipo de resíduo</b>	<b>Média dos quadrados</b>	<b>F<sub>calculado</sub></b>	<b>Graus de Liberdade</b>	<b>F<sub>tabelado-0,05</sub></b>	<b>Significância</b>
CTI	6,08	186,89	1	4,15	<b>Significativo</b>
CTL	3,08	3,06	1	4,15	<b>Não Significativo</b>

Observa-se que esta variável tem influência significativa na resistência à compressão na série de corpos-de-prova com adição de resíduo termoplástico impregnado, mas não apresenta diferença significativa nos resultados da série de corpos-de-prova com adição de resíduos de contraforte termoplástico laminado. Tal fato é facilmente visualizado na Figura 6.2, onde verifica-se que as resistências à compressão dos corpos-de-prova com resíduo laminado com adensamento manual e mecânico estão praticamente sobrepostas no gráfico.

Outra variável analisada é a *relação água/gesso*, cuja análise de variância apresentamos na Tabela 6.5.

**Tabela 6.5** - Análise de variância da relação água/gesso (0,57, 0,60, 0,65 e 0,70)

<b>Tipo de resíduo</b>	<b>Média dos quadrados</b>	<b>F<sub>calculado</sub></b>	<b>Graus de Liberdade</b>	<b>F<sub>tabelado-0,05</sub></b>	<b>Significância</b>
CTI	13,39	287,76	3	2,91	<b>Significativo</b>
CTL	23,2	78,35	3	2,91	<b>Significativo</b>

A relação água/gesso apresenta variância significativa nas duas séries analisadas (série de corpos de prova com adição de resíduos de contraforte laminado e de corpos de prova com resíduos impregnados), o que pode ser facilmente identificado na Figura 6.3. Observa-se que

nas duas séries a resistência à compressão diminui na medida que a relação água/gesso aumenta. Entretanto, a variância não é significativa nas séries de corpos-de-prova moldados com relação água gesso a partir de 0,65.

De um modo geral, os resultados dos ensaios de resistência à compressão indicam que o compósito apresenta comportamento à compressão similar aos materiais fibrosos, apresentando resistência à compressão inferior à resistência da pasta matriz. Este comportamento é explicado devido ao aumento de porosidade do compósito conferido pela incorporação das fibras.

Assim, conclui-se que, neste caso, a adição de resíduos, de forma particular a cada um, provavelmente aumenta a porosidade da matriz conferindo resistências à compressão inferiores à da pasta de gesso.

### **6.3.2 Resistência ao impacto**

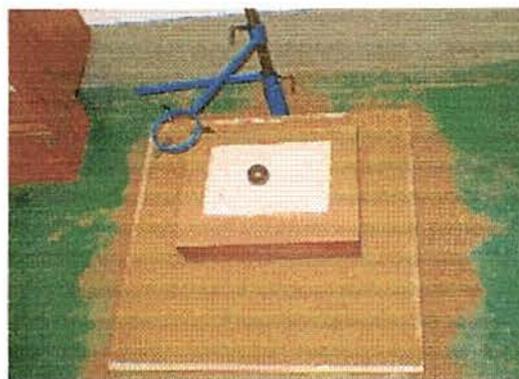
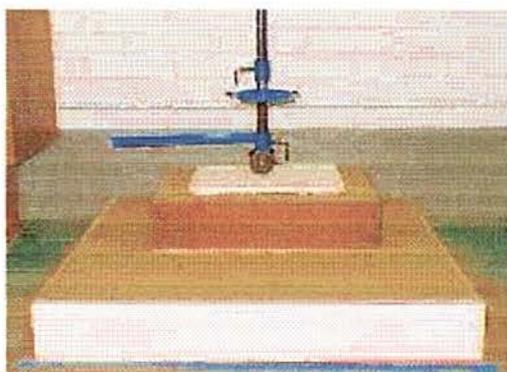
#### **6.3.2.1 Desenvolvimento do ensaio**

O método de ensaio utilizado foi desenvolvido a partir do Projeto de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas 2:02.10.084 - Piso cerâmico; determinação da resistência ao impacto - método de ensaio e na JIS 6745, já tendo sido utilizado por SAVASTANO Jr. (1987) e SANTOS (1988), e consiste na determinação da resistência ao impacto de um corpo-de-prova submetido a sucessivas quedas de uma esfera de aço, observando-se o eventual surgimento de fissuras.

O equipamento utilizado constitui-se de um anel metálico que desliza sobre uma haste vertical, de modo a se ajustar à altura de queda. Este anel suporta uma esfera de aço de peso conhecido, o qual deve “cair” no centro do corpo-de-prova a partir de sucessivas alturas. A esfera de aço é apoiada no anel suporte através de três parafusos de tal forma que a mesma fique centralizada, em posição precisa de queda. Para a liberação da esfera, basta deslocar um dos parafusos, desenvolvendo-se uma queda vertical perfeita, sem movimentos indesejáveis de rotação. A queda da esfera de aço no centro do corpo-de-prova é assegurada pelo uso de um fio de prumo, que deve auxiliar o operador no ajuste da posição do anel suporte.

Os corpos-de-prova utilizados são placas retangulares com 20x30cm, e 2cm de espessura. Para o ensaio, o corpo-de-prova é colocado sobre uma caixa de madeira preenchida com areia seca, que por sua vez também deverá estar sobre outra caixa de madeira preenchida com areia, de dimensões maiores garantindo que a areia possa dissipar uma parcela uniforme de energia cinética resultante das quedas da esfera de aço sobre o corpo-de-prova. Antes do início do ensaio, a caixa de areia superior deve ser adensada em mesa vibratória por 10s.

As figuras 6.4 e 6.5 mostram detalhes do equipamento utilizado para a realização do ensaio.



**Figura 6.4 e 6.5** Equipamento utilizado para a realização do ensaio de impacto.

Após a preparação inicial do corpo-de-prova e da altura e posição correta da esfera, deve-se proceder à queda da esfera. A altura inicial é de 15cm, medidos entre a face inferior da esfera e a face superior do corpo-de-prova.

Em seguida à queda, a face inferior do corpo-de-prova deve ser inspecionada, verificando-se se houve fissuração e anotando-se a abertura da fissura medida com auxílio de um fissurômetro (neste estudo foi utilizado um fissurômetro óptico com precisão de leitura de 0,1mm). Além da precisão do equipamento, cabe ressaltar que, em função do operador, pode-se obter um erro de até 0,1mm na leitura da abertura da fissura, resultando numa variabilidade de abertura de até 0,2mm.

Aumenta-se sucessivamente a altura de queda em 5cm, repetindo-se após cada queda da esfera a inspeção das fissuras do corpo-de-prova, até a altura de queda de seu rompimento, ou a altura máxima de 200cm.

Após o ensaio, determina-se a energia correspondente aos impactos sucessivos. Pode-se admitir que a máxima energia aplicada é igual à energia potencial da esfera metálica, antes de ser lançada em queda livre, conforme a equação 6.1:

$$E = mg \sum_{i=1}^n h_i, \text{ onde:}$$

$E$  = energia de impacto, resultante de  $n$  impactos (em Joules);  
 $m$  = massa da esfera metálica ( $m = 623\text{g}$ )  
 $g$  = aceleração da gravidade (adotado  $g = 9,8\text{m/s}^2$ );  
 $n$  = número de golpes sofridos pelo corpo-de-prova;  
 $h$  = altura de queda da esfera

### Equação 6.1

Num primeiro momento foi realizado um estudo preliminar com o objetivo de analisar o comportamento do compósito frente a este ensaio, procurando verificar se a adição de resíduos efetivamente incrementa a resistência da matriz ao impacto, e quais variáveis exercem maior influência.

Foram moldados conjuntos de corpos-de-prova<sup>1</sup> compostos por quatro corpos-de-prova com teores de adição de 10%, 15%, 20% e 25%, respectivamente, utilizando-se adensamento mecânico e relação  $a/g = 0,57$ .

Em dois conjuntos o tipo de resíduo adicionado foi de contraforte impregnado, sendo numa a granulometria com módulo de finura de 4,3 e na outra 5,9. Nos outros conjuntos, o resíduo adicionado foi de contraforte laminado, utilizando-se as mesmas granulometrias.

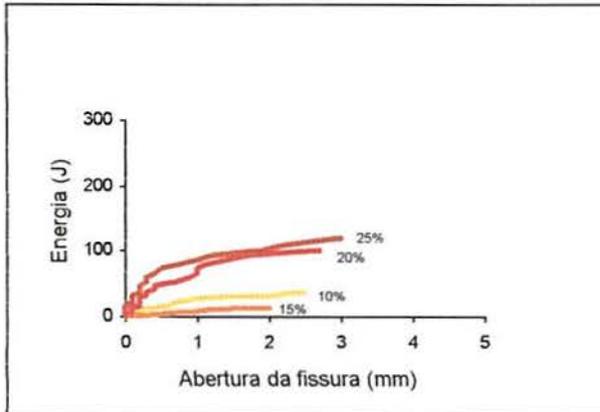
Também foi moldada uma série de corpo-de-prova<sup>2</sup> composta por três corpos-de-prova sem adição de resíduo para referência.

Os resultados obtidos em cada corpo-de-prova encontram-se na Tabela II, Anexo B.

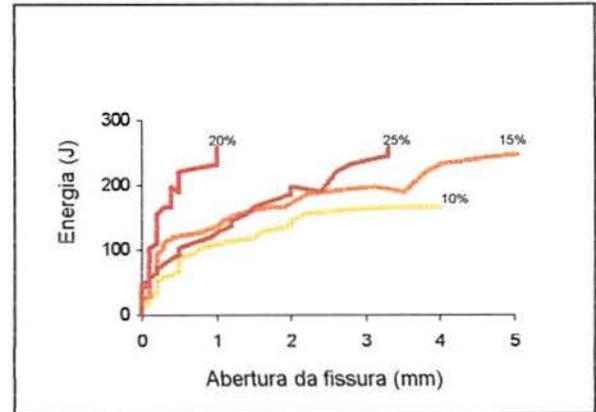
As figuras 6.6 à 6.9 mostram o comportamento dos quatro conjuntos de corpos-de-prova frente à realização do ensaio. Os resultados do ensaio da série de corpos-de-prova sem adição de resíduo não são mostrados nestas figuras porque apresentaram rompimento na primeira queda da esfera, comprovando a fragilidade da matriz de gesso.

<sup>1</sup> Conjunto de corpos-de-prova: corpos-de-prova com adição do mesmo tipo de resíduo, sendo cada um com diferente teor de adição.

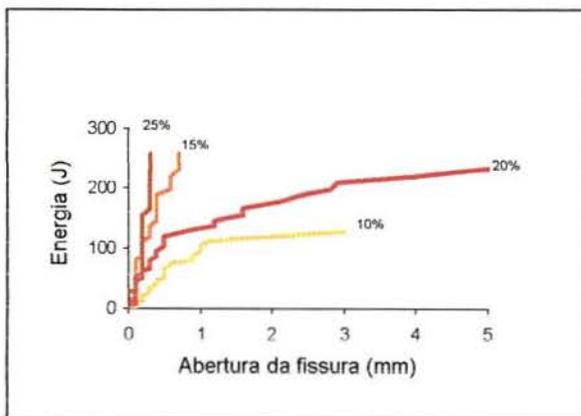
<sup>2</sup> Série de corpos-de-prova: corpos-de-prova moldados de forma idêntica.



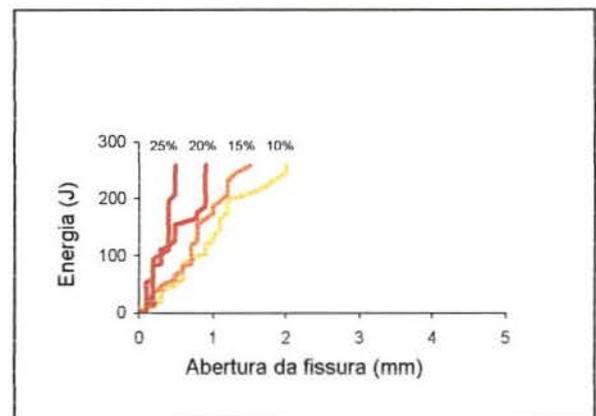
**Figura 6.6** Resistência ao impacto do conjunto de corpos de prova com adição de resíduo de CTI com módulo de finura igual à 4,3.



**Figura 6.7** Resistência ao impacto do conjunto de corpos de prova com adição de resíduo de CTI com módulo de finura igual à 5,9.



**Figura 6.8** Resistência ao impacto do conjunto de corpos de prova com adição de resíduo de CTL com módulo de finura igual à 4,3.



**Figura 6.9** Resistência ao impacto do conjunto de corpos de prova com adição de resíduo de CTL com módulo de finura igual à 5,9.

A realização destes ensaios preliminares, num primeiro momento, evidenciou a distinção de comportamentos entre os corpos-de-prova moldados com pasta de gesso e os corpos-de-prova moldados com o compósito.

A matriz de gesso sem a adição de resíduo apresenta rompimento brusco, sempre ocorrendo na primeira queda da esfera, que corresponde a uma energia de 0,94J.

O compósito, por sua vez, demonstrou maior ductilidade, apresentando uma deformação plástica considerável. Pode-se verificar que a adição dos resíduos testados incrementa de forma significativa a resistência ao impacto da matriz.

Os resultados também evidenciam a influência das seguintes variáveis no comportamento dos compósitos:

- Tipo de resíduo: observa-se que o resíduo de contraforte impregnado absorve mais energia até o surgimento da primeira fissura, entretanto a propagação e aumento da abertura da fissura é mais restringida nos conjuntos com adição de resíduo de contraforte laminado.
- Teor de adição: percebe-se em todos os conjuntos testados, que a propagação e abertura da fissura é mais restringida na medida em que o teor de adição aumenta;
- Granulometria dos resíduos: para ambos resíduos, os conjuntos com adição de resíduos com módulo de finura maior (5,9) apresentam melhor comportamento.

A partir das observações obtidas nos ensaios preliminares de resistência ao impacto, foram moldados novos corpos-de-prova com o objetivo de buscar uma maior compreensão do comportamento do compósito frente ao ensaio de impacto.

Tendo em vista o bom comportamento neste ensaio dos compósitos com maiores teores de adição de resíduo aliado à necessidade de uso do material, os teores de adição estudados nesta etapa foram de 20% e 25%, ainda que ocorra uma pequena perda na resistência à compressão, o ganho de resistência ao impacto é muito significativo quando incorporado um grande teor de resíduos.

Mesmo considerando que a utilização de resíduos com maior módulo de finura melhora a resistência ao impacto do compósito, optou-se pelo uso de resíduos com módulo de finura menor (MF=4,3). Tal decisão deve-se à necessidade de melhor trabalhabilidade da pasta no estado fresco, e ao melhor acabamento superficial no estado endurecido das peças, principalmente quando se utilizar altos teores de adição (20 e 25%). O tipo de adensamento utilizado foi com vibração mecânica.

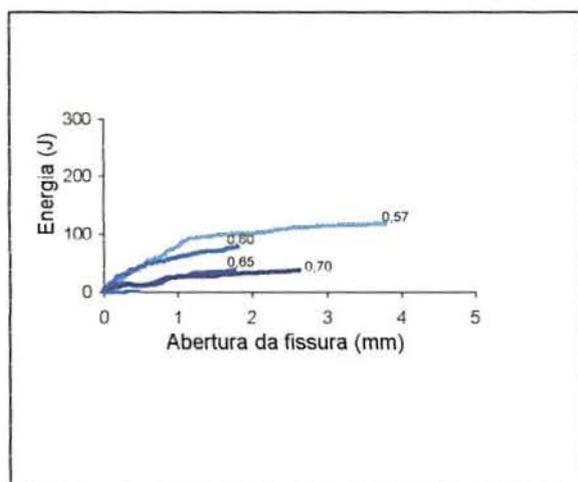
Nesta etapa foram moldadas séries de três corpos-de-prova para análise das seguintes variáveis:

- tipo de resíduo e teor de adição, relação água/gesso e adição mista de resíduo.

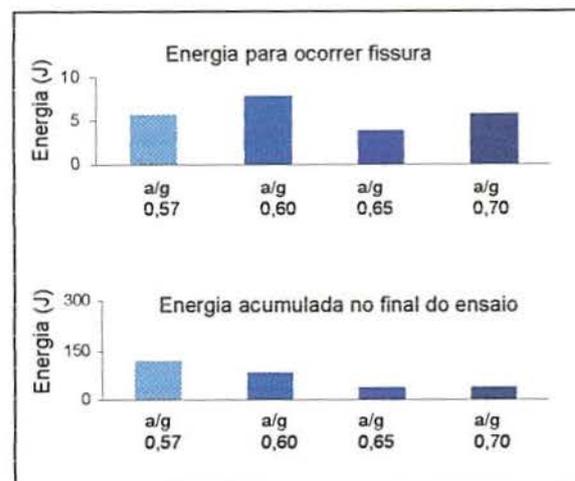
A influência da relação água/gesso no compósito foi verificada através da moldagem de séries de corpos-de-prova utilizando-se relações água/gesso de 0,57, 0,6, 0,65 e 0,7.



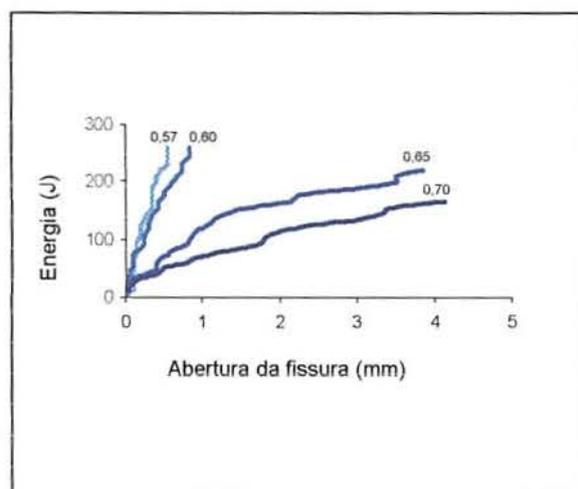
As Figuras 6.11 e 6.12 apresentam, respectivamente, a média dos resultados de resistência ao impacto das séries de corpos-de-prova moldadas com adição de resíduo de contraforte termoplástico impregnado e laminado, em teor de 20%, variando-se a relação água/gesso.



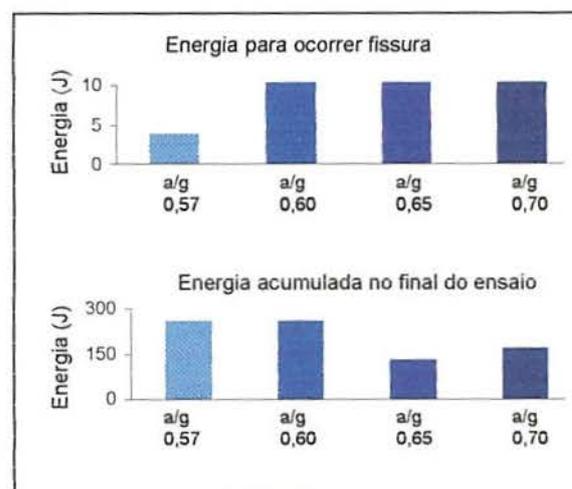
**Figura 6.11a** Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição de 20% de resíduos de CTI, variando-se a relação água/gesso.



**Figura 6.11b** Representação da energia na qual ocorre fissura e energia acumulada no final do ensaio (20% CTI).

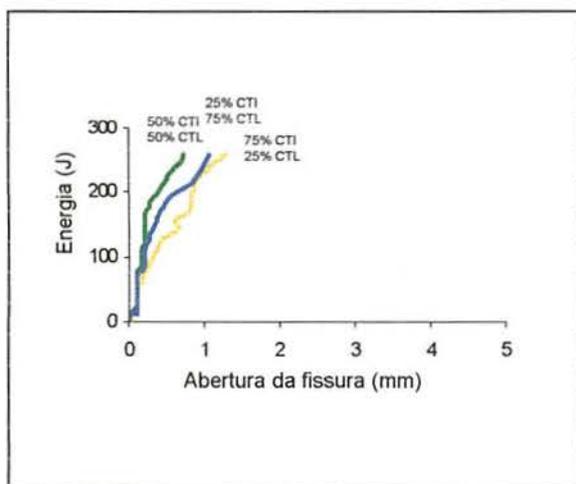


**Figura 6.12a** Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição de 20% de resíduos de CTL, variando-se a relação água/gesso.

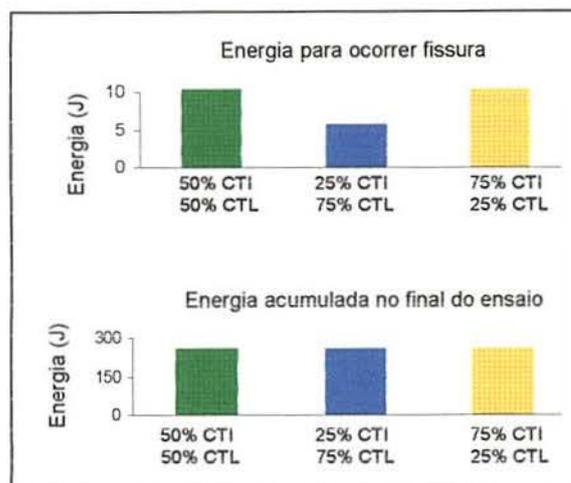


**Figura 6.12b** Representação da energia na qual ocorre fissura e energia acumulada no final do ensaio (20% CTL).

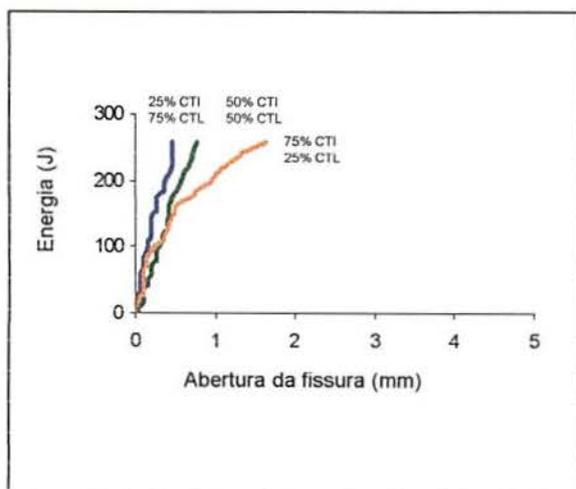
As Figuras 6.11 e 6.12 apresentam, respectivamente, a média dos resultados de resistência ao impacto das séries de corpos-de-prova moldadas com adição mista de resíduo de contrafortes em teor de 20% e 25%.



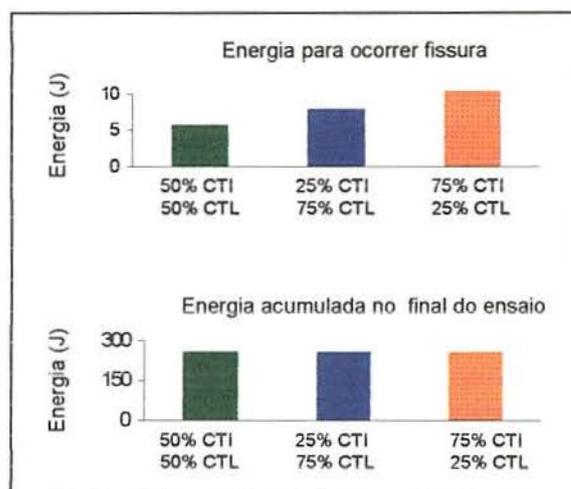
**Figura 6.13a** Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição mista de resíduos, em teor de 20%.



**Figura 6.13b** Representação da energia na qual ocorre fissura e energia acumulada no final do ensaio (adição mista, teor de 20%).



**Figura 6.14a** Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição mista de resíduos, em teor de 25%.



**Figura 6.14b** Representação da energia na qual ocorre fissura e energia acumulada no final do ensaio (adição mista, teor de 35%).

### 6.3.2.3 Análise dos resultados

Os ensaios de resistência ao impacto realizados nas séries de corpos-de-prova com adição de resíduos de contrafortes confirmam as observações feitas a partir dos ensaios preliminares.

A Figura 6.10 *a* e *b* mostra que o comportamento das séries com adições de contraforte termoplástico impregnado é distinto ao das séries com adições de resíduos de contraforte termoplástico laminado.

As séries com adições de contraforte impregnado absorvem maior energia até o surgimento da primeira fissura, entretanto observa-se que a propagação da fissura ocorre de forma mais veloz, levando ao rompimento dos corpos-de-prova antes do término do ensaio, principalmente na série com teor de adição de 20%.

As séries com adições de contraforte laminado, ao contrário, absorvem menor energia até o surgimento da primeira fissura, porém a propagação é muito restringida, sendo que nos dois teores de adição testados, não houve rompimento dos corpos de prova ao final do ensaio.

O surgimento e a propagação da fissura são facilmente observados na Tabela II do anexo B.

O comportamento diferenciado apresentado pelas séries de corpos-de-prova decorrente do tipo de resíduo adicionado pode ser explicado pela diferença dos materiais em si, principalmente pelo material de estruturação empregado em cada um.

Conforme descrito no Capítulo 3, ainda que não exista bibliografia acessível referente aos contrafortes com estrutura de tecido (neste caso o contraforte laminado), é sabido que os mesmos apresentam características superiores de resistência à tração aos contrafortes que utilizam estrutura de manta não tecida (contraforte impregnado), comprovado pelo ensaio descrito no Capítulo 5, item 4.3.4.1.

A influência da relação água/gesso frente à resistência ao impacto é verificada nas Figuras 6.11 e 6.12. Em ambos ensaios observa-se que a resistência ao impacto diminui à medida que a relação água/gesso aumenta. Nas “Figuras b” verifica-se que as séries de menor relação água/gesso requerem maior energia para ocorrer fissuração.

Observa-se que nas séries com adição de resíduo de contraforte impregnado, quanto maior a relação água/gesso, mais veloz é a propagação da fissura e, por consequência, mais cedo ocorre a ruptura dos corpos de prova. Tal fato também é observado nas séries com adição de resíduo de contraforte laminado, porém apenas apresentaram ruptura as séries com relação água/gesso 0,65 e 0,7. Apesar da constatação de que menores relações água/gesso aumentam a resistência ao impacto, é necessário limitar sua redução por causa da trabalhabilidade requerida para a moldagem. Verifica-se que as séries de corpos-de-prova moldados com relação água/gesso de 0,57 e 0,60 não apresentaram diferença de comportamento significativa. Assim, pode-se considerar a relação água/gesso 0,60 como mais apropriada, por não comprometer a resistência ao impacto e propiciar maior facilidade de moldagem.

A adição mista de resíduos se mostrou possível em ambos os teores de adição e em todas as três composições testadas. As “Figuras b” mostram que nenhuma série apresenta ruptura antes do final do ensaio, mesmo na série com teor de adição de 20%, composta por 75% de resíduos de contraforte impregnado, indicando que apenas 25% de resíduo de contraforte laminado é suficiente para incrementar a resistência ao impacto. Em ambos os teores de adição testado, as séries compostas por 50% e 75% de resíduo laminado apresentam menor propagação de fissura ao longo do ensaio (Figuras a), apesar de observar-se, na Figura 6.14b, que a série com 75% de resíduo impregnado é a que necessita de maior energia para ocorrer fissura.

Conforme descrito no Capítulo 4, item 4.2.3, a resistência ao impacto é uma das propriedades mais incrementadas com o uso de fibras, sendo o maior benefício do reforço das fibras a modificação do comportamento do material após a fissuração, diminuindo a propagação das fissuras. Tal comportamento é nitidamente percebido nos compósitos ensaiados, pois os corpos-de-prova sem adição de resíduo submetidos ao ensaio de impacto obtiveram ruptura brusca, com aplicação de baixa energia. Os corpos-de-prova com adição de resíduo, por sua vez, apresentaram deformação plástica considerável, se tornando um material de maior ductilidade, mais adequado para uso em construção civil. Cabe lembrar que o ensaio de impacto depende de muitas variáveis, como tipo de equipamento, energia aplicada, velocidade de aplicação da energia, etc., sendo difícil a reprodução de dados e comparação dos resultados com os de outros pesquisadores.

### 6.3.3 Resistência à tração na flexão

#### 6.3.3.1 Desenvolvimento do ensaio

A resistência à tração na flexão dos compósitos foi determinada baseando-se na metodologia especificada na ASTM C78-94, utilizando-se corpos-de-prova com dimensões de 25x5cm, com 2cm de espessura, cujo valor é obtido pela equação 6.2:

$$R = \frac{PxL}{BxD^2}, \text{ onde}$$

R = Resistência à tração na flexão (em Kgf/cm<sup>2</sup>);  
 P = Carga máxima aplicada (em Kgf);  
 L = Distância entre os apoios do corpo-de-prova (15cm);  
 B = Largura do corpo-de-prova (5cm);  
 D = Espessura do corpo-de-prova (2 cm).

**Equação 6.2**

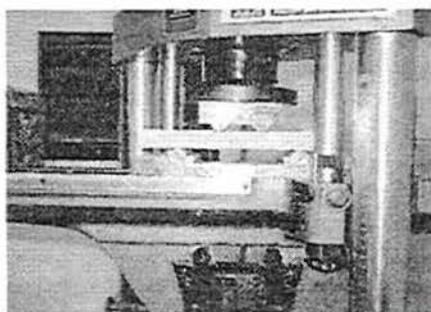
Os ensaios foram realizados numa Máquina Universal de Ensaios, marca Volpert, com capacidade de 100KN, do Laboratório de Ensaios Mecânicos da UNISINOS.

Os objetivos para realização deste ensaio foram:

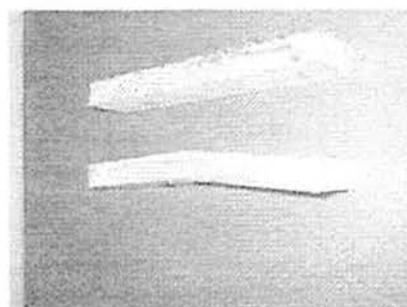
- verificar se há melhoria nas características elásticas do compósito com a adição de resíduos;
- determinar a relação entre tensão e deformação frente à aplicação de incremento de carregamento contínuo.

Os corpos-de-prova submetidos a este ensaio seguiram o mesmo critério de moldagem estabelecido no ensaio de impacto, compreendendo séries de três corpos-de-prova, com adição simples e mista de resíduos moídos em granulometria com módulo de finura de 4,3, em teores de adição de 20 e 25%, com relações água/gesso de 0,57, 0,60, 0,65 e 0,70.

As Figuras 6.15 e 6.16 mostram respectivamente detalhes da realização do ensaio e dos corpos-de-prova ensaiados.



**Figura 6.15** Equipamento utilizado para a realização do ensaio de tração na flexão.

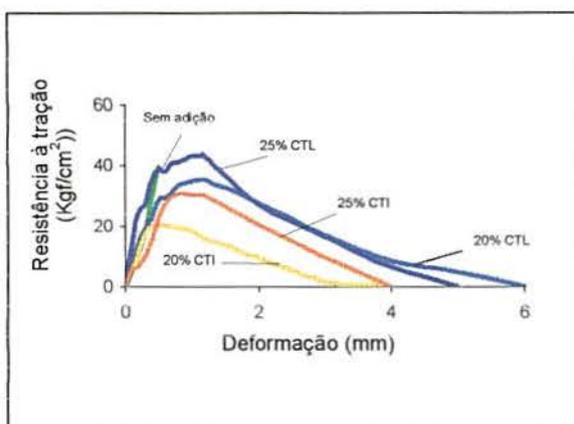


**Figura 6.16** Corpos-de-prova antes e após a realização do ensaio.

### 6.3.3.2 Resultados obtidos

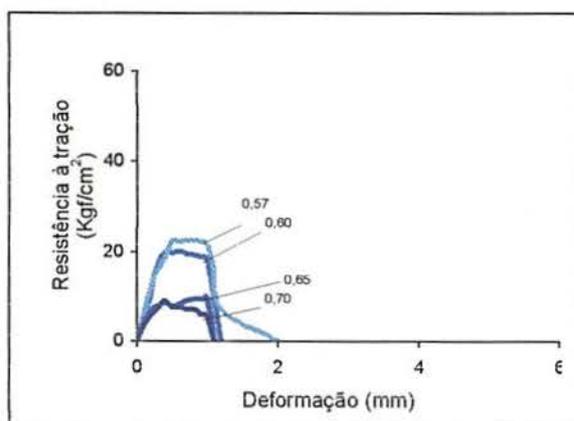
Os resultados obtidos em cada corpo-de-prova ensaiado encontram-se na Tabela III, Anexo B.

A Figura 6.17 apresenta a média da resistência à tração na flexão obtida nas séries de corpos-de-prova com adição de resíduos de contraforte termoplástico impregnado e laminado, em teores de adição de 20% e 25%. Adotou-se como parâmetro para término do ensaio o final da aplicação da carga ou o rompimento dos corpos-de-prova;

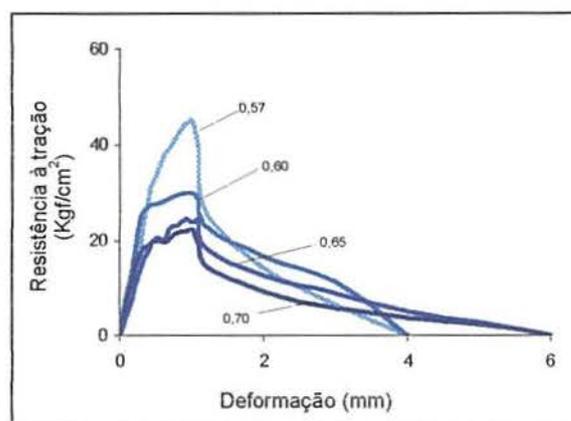


**Figura 6.17** Resistência média à tração na flexão das séries de corpos-de-prova com adição de 20% e 25% de resíduos.

As Figuras 6.18 e 6.19 apresentam a média da resistência à tração na flexão obtida nas séries de corpos-de-prova com adição de resíduos de 20% de contraforte termoplástico impregnado e laminado, variando-se a relação água/gesso.

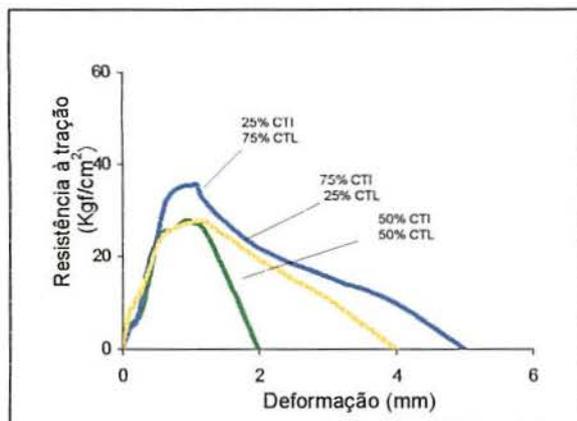


**Figura 6.18** Resistência média à tração na flexão das séries de corpos-de-prova com adição de 20% de resíduos de CTI, variando-se a relação água/gesso.

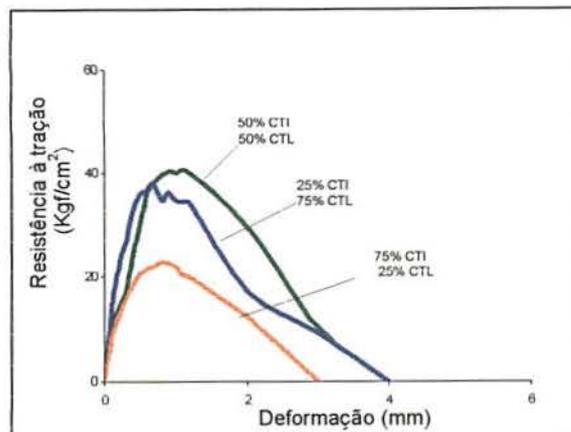


**Figura 6.19** Resistência média à tração na flexão das séries de corpos-de-prova com adição de 20% de resíduos de CTL, variando-se a relação água/gesso.

As Figuras 6.20 e 6.21 apresentam, respectivamente, a média dos resultados de resistência à tração na flexão das séries de corpos-de-prova moldadas com adição mista de resíduo de contrafortes em teor de 20% e 25%.



**Figura 6.20** Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição mista de resíduos, em teor de 20%.



**Figura 6.21** Resistência média ao impacto das séries de corpos-de-prova com adição mista de resíduos, em teor de 25%.

### 6.3.3.3 Análise dos resultados

A realização deste ensaio permite observar de um modo geral que o comportamento dos corpos-de-prova com adição de resíduos é muito distinto do comportamento dos corpos de prova sem adição de resíduos, especialmente no que diz respeito à deformação.

Verifica-se na Figura 6.17 que a série de corpos-de-prova moldada sem adição de resíduo resiste a um carregamento de até aproximadamente 60KN. Em seguida, ocorre a ruptura dos corpos-de-prova de forma brusca.

As demais séries moldadas com adição de resíduos de contrafortes, ainda que resistindo a um carregamento inferior (séries moldadas com resíduos de contraforte termoplástico impregnado) apresentam considerável deformação, não ocorrendo a ruptura dos corpos-de-prova, indicando que a adição de resíduos confere ductilidade à matriz..

Percebe-se também que em alguns corpos-de-prova com adição de resíduos a carga aplicada decresce e torna a crescer, indicando haver uma redistribuição de esforços nos compósitos.

Assim como já verificado no ensaio de resistência ao impacto, o tipo de resíduo, o teor de adição, a relação água/gesso e a adição mista de resíduos influenciam o comportamento do compósito frente a este ensaio, de forma similar à observada na análise dos resultados do ensaio de impacto, item 6.3.2.3.

Neste ensaio observa-se que os compósitos com adição de resíduos de contraforte termoplástico laminado resistem a um carregamento maior e apresentam maior deformação do que os compósitos com adição de contraforte impregnado.

A relação água/gesso é outra variável com grande influência nos resultados, conforme mostram as Figuras 6.18 e 6.19. Em ambos ensaios observa-se que a carga suportada e a deformação diminuem conforme a relação água/gesso aumenta.

O teor de adição mostrou grande influência nos resultados. Observa-se que o teor de adição de 25% apresenta maior resistência ao compósito, seja na adição simples de resíduos (Figura 6.17) ou na adição mista, comparando as Figuras 6.20 e 6.21.

Os corpos-de-prova com adição mista - 75% de resíduos impregnados e 25% de resíduos laminados - em ambos teores, não apresentaram acréscimo significativo de resistência, se comparada à resistência apresentada pelos corpos-de-prova com adição simples de resíduo de contraforte impregnado. No ensaio de impacto, esta composição incrementa significativamente a resistência, a compararmos com a resistência dos corpos-de-prova com adição simples de contraforte impregnado.

A realização deste ensaio permite concluir que o comportamento à tração na flexão da matriz é bastante modificado com a adição de fibras, sendo que o compósito resultante apresenta, também sob este aspecto, comportamento semelhante aos materiais fibrosos, apresentando deformação plástica considerável após o início da fissuração da matriz, ao invés de apresentar ruptura brusca.

Conforme descrito no Capítulo 4, a resistência à tração é muito influenciada pela aderência da fibra à matriz, fator importante na correlação entre a transferência de esforços na interface fibra-matriz.

Entretanto, neste trabalho, a caracterização de aderência dos resíduos à matriz de gesso não foi realizada, devido à complexidade dos fatores envolvidos, ficando como sugestão para futuros trabalhos.

## **6.4 ASPETOS RELACIONADOS À DURABILIDADE DO COMPÓSITO**

Os materiais empregados na construção civil geralmente são expostos a complexos mecanismos de degradação, que podem ocorrer por fatores externos ao material (meio em que estão inseridos), ou por suas características estruturais (internos).

A interação entre estes fatores irá diminuir a durabilidade do material, que, sem dúvida é um aspecto de grande importância a ser considerado no desenvolvimento de um novo material.

A avaliação da durabilidade deve ser baseada na correta caracterização do ambiente no qual o produto será usado, permitindo relacionar os agentes ambientais que podem causar a degradação do produto.

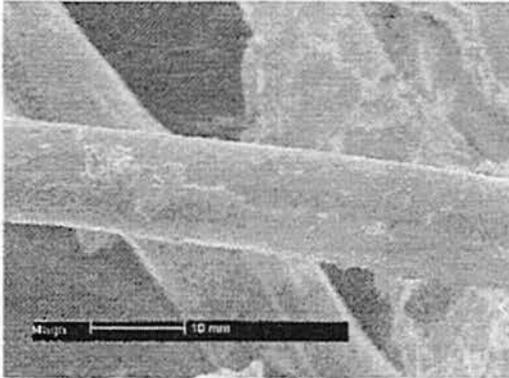
Em se tratando de um produto composto por mais de um material, a interação entre os materiais constituintes, bem como a sinergia dos processos de degradação devem ser analisadas, pois desta sinergia podem surgir novos mecanismos de degradação. A mesma preocupação deve ser estendida às interfaces entre o produto e outros materiais que estarão em contato durante a fase de uso (JOHN, 1997).

No presente trabalho a análise de durabilidade restringiu-se aos materiais constituintes do compósito, tendo em que não se contempla o desenvolvimento do produto final.

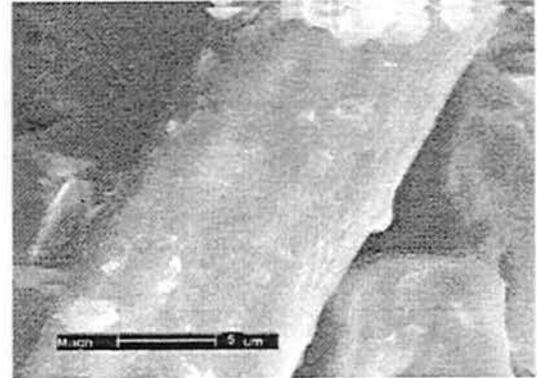
### **6.4.1 Análise da interação entre os materiais constituintes**

Com o objetivo de verificar se, com o tempo, existe alguma interação entre a pasta de gesso da matriz com o resíduo que possa gerar algum processo de degradação no compósito, analisou-se a superfície das fibras de estruturação do resíduo, em amostras de compósitos de um dia de idade (figura a) e de dez meses de idade (figura b). Para este ensaio, utilizou-se um

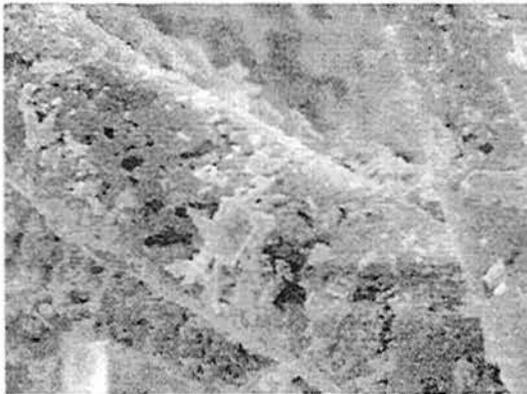
microscópico eletrônico de varredura (MEV) (equipamento citado no item 5.3.3), com imagens de elétrons secundários. As micrografias obtidas com o ensaio são mostradas nas Figuras 6.22 e 6.23.



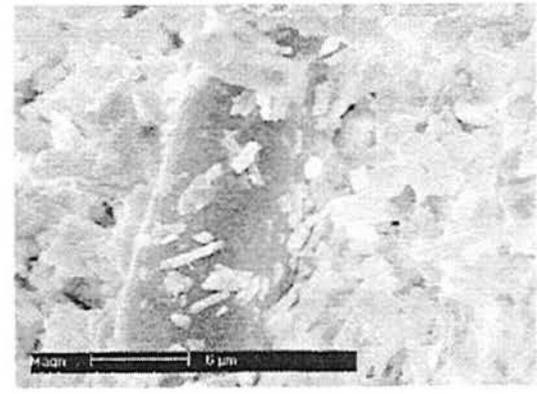
**Figura 6.22a** Fibra do resíduo de contraforte impregnado. Amostra de compósito com um dia de idade. Aumento de 2000 vezes.



**Figura 6.22b** Fibra do resíduo de contraforte impregnado. Amostra de compósito com dez meses de idade. Aumento de 4000 vezes.



**Figura 6.23a** Fibra do resíduo de contraforte laminado. Amostra de compósito com um dia de idade. Aumento de 4000 vezes.



**Figura 6.23b** Fibra do resíduo de contraforte laminado. Amostra de compósito com dez meses de idade. Aumento de 4000 vezes.

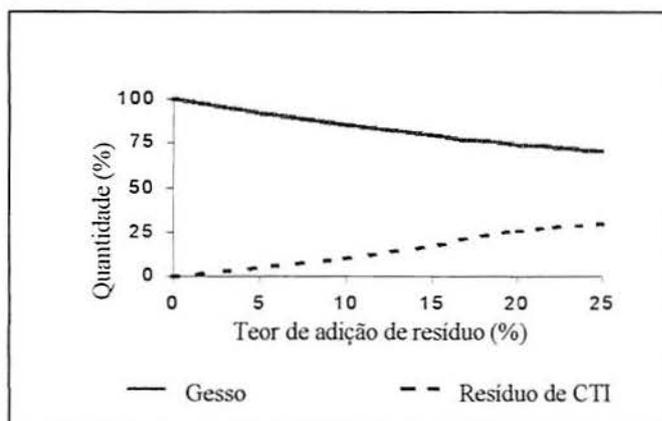
As imagens obtidas com a realização do ensaio mostram que nas amostras analisadas, as fibras de estruturação dos resíduos adicionados não apresentam degradação visível em suas superfícies, seja nas amostras com um dia de idade, ou com dez meses, havendo indícios de que os materiais constituintes do compósito são compatíveis entre si.

## 6.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Este estudo não prevê uma análise de custo do compósito, uma vez que as empresas geradoras dos resíduos de contraforte ainda não têm definições sobre os custos relativos à moagem, estocagem e transporte do resíduo.

Há expectativa de que o resíduo de contraforte adicionado como fibra não seja um fator que encareça o produto final. Ao contrário, espera-se que os mesmos venham a ter um custo inferior às demais fibras existentes no mercado, sendo que o alto custo destas, muitas vezes, limita o teor de adição, ou inviabilizam sua utilização.

Além da expectativa de um custo relativamente baixo dos resíduos, a adição dos mesmos proporciona uma redução na quantidade de gesso necessária na moldagem. A Figura 6.24 mostra as quantidades de gesso e resíduos necessárias para moldagem de compósitos com diferentes teores de adição de resíduo de contraforte impregnado adotando-se relação água/gesso 0,60.



**Figura 6.24** Quantidades percentuais de gesso e resíduo de CTI necessárias para moldagem de compósitos com diferentes teores de adição de resíduo

Verifica-se que utilizando-se teores de adição de resíduo de 20% e 25% se economiza, respectivamente em torno de 25% e 30% na quantidade de gesso da matriz.

Considerando que o resíduo tenha um custo inferior às demais fibras do mercado e que a adição proporcione uma economia significativa no custo final do produto, principalmente no Rio Grande do Sul, onde o gesso é relativamente mais caro do que em outros estados, devido ao transporte, a expectativa que se tem é de que o compósito seja viável economicamente.

## Capítulo 7

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 7.1 CONCLUSÕES

Os resíduos estudados na presente dissertação são provenientes de dois tipos de contrafortes termoplástico: o impregnado e o laminado. Ambos são materiais a base de polímeros e apresentam elevada resistência mecânica e química, características interessantes para uso do material em construção civil.

Com a realização do trabalho pode-se concluir é possível adicionar os resíduos de contrafortes termoplásticos impregnado e laminado em matriz de gesso, sendo que a adequação do resíduo para se proceder a adição é simples, necessitando-se apenas de um moinho para realizar a moagem (no caso foi utilizado um moinho de facas) e a mistura dos materiais pode ser feita em argamassadeira ou betoneira, não necessitando de equipamentos especiais e tecnologia sofisticada. Verificou-se que é possível adicionar resíduos em quantidade de até 25% em relação à massa de gesso da matriz.

Não foi possível identificar a quantidade exata de resíduos de contraforte gerada. No entanto, concluiu-se que até 20% da produção das placas de contraforte (material base para fabricação das peças de contraforte) se tornam resíduo na operação de corte, que até hoje tem como destino final os aterros de resíduos industriais, acarretando despesas de transporte e armazenamento e responsabilidade ao fabricante por danos ambientais que possam ocorrer. Tendo em vista a necessidade de uso dos contrafortes em todo tipo de calçado fechado na parte do calcanhar, pode-se prever que a produção de placas de contrafortes é alta, gerando, por consequência uma alta quantidade de resíduos, que é estimada pelas empresas calçadistas em 80ton/mês na região do Vale do Rio dos Sinos, no Rio Grande do Sul.

O resíduo moído, apresenta comportamento similar ao de uma fibra, diminuindo a resistência à compressão da matriz, porém, incrementando, de forma significativa a resistência ao impacto e à tração na flexão, modificando o comportamento pós fissuração (a presença dos resíduos na matriz restringe a propagação da fissura).

A tenacidade da matriz foi muito aumentada, sendo que o compósito apresenta deformação plástica considerável, ao invés da ruptura brusca característica da matriz.

As resistências ao impacto e à flexão, bem como a deformação plástica foram verificadas nos compósitos com adição dos dois tipos de resíduos e em todos os teores de adição testados.

No entanto, verifica-se maior incremento de resistência quando empregados teores mais elevados (20 e 25%), adição de resíduo de contraforte laminado, ou adição mista de resíduo. A relação água/gesso mais indicada se mostrou a de 0,60, tendo em vista a melhor trabalhabilidade da pasta, sem perda significativa de resistência.

Os materiais se mostram compatíveis entre si, não havendo indícios de degradação visíveis em decorrência de interações intrínsecas dos materiais em compósitos de até um ano de idade. Contudo, observou-se que pode haver proliferação de fungos no resíduo, fato que merece estudo mais aprofundado.

Ainda que não é prevista análise de custo do compósito neste trabalho, a análise de viabilidade econômica realizada indica que a adição de resíduos viabiliza economicamente o compósito, pois se tem expectativa que os resíduos venham a ter um custo inferior às fibras existentes no mercado, além da adição proporcionar uma economia na quantidade de gesso da matriz.

Assim, pode-se concluir que o uso de resíduos de contrafortes termoplástico impregnado e laminado em matriz de gesso pode ser uma atraente alternativa para a reciclagem deste resíduo industrial, surgindo, ao mesmo tempo, um novo compósito para a construção civil, potencialmente viável técnica e economicamente.

## 7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sendo esta a primeira pesquisa sobre a incorporação de resíduos de contrafortes em matriz de gesso, é necessário realizar novos estudos que possam complementar a caracterização do compósito, e desenvolver um componente que venha a ser utilizado na construção civil. Como sugestões para trabalhos futuros tem-se:

- Análise da aderência resíduo-matriz;
- Análise do comportamento térmico e acústico do compósito;
- Uso dos resíduos de contrafortes em conjunto com outros resíduos sólidos industriais;
- Uso de fosfogesso na matriz;
- Uso de retardadores de pega do gesso;
- Uso dos resíduos de contrafortes em outras matrizes;
- Aperfeiçoamento da produção do compósito, com o desenvolvimento do processo industrial;
- Desenvolvimento de um produto final a partir do compósito proposto;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOPYAN, V. **The preparation of glass reinforced gypsum by premixing and its properties under humid conditions.** London. 247 p. Tese (PhD) - University of London King's College, 1982.
- AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais.** Tese apresentada ao Concurso de Livre-Docência ao Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, julho de 1991.
- AGOPYAN, V. Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído/Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - v.1, n.2 (jul/dez 1997) São Paulo: ANTAC, 1997.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete. (Using Simple Beam with Third Point Load).** ASTM-C78-94.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e execução de concreto armado.** NBR 6118.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ensaio de granulometria de agregados.** NBR 7211.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gesso para Construção. Determinação das propriedades físicas da pasta.** MB 3469.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gesso para Construção. Determinação das propriedades mecânicas.** MB 3470.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gesso para Construção. Determinação das propriedades físicas do pó.** MB 3468.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos - Classificação.** NBR 10004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Lixiviação de Resíduos - Classificação.** NBR 10005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solubilização de Resíduos - Classificação.** NBR 10006.

BERALDO, A. L.; et alli. Viabilidade de fabricação de compósitos resíduos de madeiras e cimento portland (CBC). *In: Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.

BRENNER, C.A; SCHOLEN, A.B. Contrafortes termoplásticos: como otimizar sua utilização. *In: Congresso Brasileiro de Tecnologia do Calçado, 2. Anais.* Novo Hamburgo, 1986; Tecnicouro. Novo Hamburgo, mar/abr (supl. Especial) 1996.

CALARGE, L.M. et alli. Desenvolvimento de tijolos maciços a partir de cinzas pesadas e cal hidratada. *In: II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental - Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental.* Porto Alegre, 26-28 Out. 1998: ANTAC, 1998.

CALMON, J.L.; et alli. Reciclagem do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas. *In: I Encontro Nacional sobre edificações sustentáveis.* Canela, 18-21 Nov., 1997. Porto Alegre: Antac, 1997.

- CASSA, J. C. ; et alli. Aproveitamento de escória de fe-Cr para produção de concreto de elevado desempenho. *In. Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.
- CASTILHOS Jr, A. B.; et alli. Diagnóstico de resíduos sólidos industriais em Santa Catarina: perspectivas de valorização na construção civil. *In. Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. ANTAC, 1996.
- CASTILHOS JR.; ,et alli. Inventário de resíduos industriais no Estado de Santa Catarina. Perspectiva de uso na consrução civil. *In: I encontro nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis.* Canela, 18 - 21 Nov, 1997. Canela: ANTAC, 1997.
- CAVALCANTE, J.; CHERIAF, M. Ensaio de avaliação para controle ambiental de materiais com resíduos incorporados. *In. Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.
- CHERIAF, M. et alli. Valorização do lodo da indústria têxtil como material de construção civil. *In: II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental - Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental.* Porto Alegre, 26-28 Out. 1998: ANTAC: 1998.
- CINCOTTO, M.A. **Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil.** In: Tecnologia de Edificações. São Paulo, PINI, 1988. 708p.
- CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; FIORINDO, M. C. O gesso como material de construção - composição química (1ª parte). **Tecnologia de Edificações**, IPT - Divisão de Edificações Editora PINI, São Paulo 1988, p. 53-56.
- CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; FIORINDO, M. C. O gesso como material de construção - propriedades físicas e mecânicas (2ª parte). **Tecnologia de Edificações**, IPT - Divisão de Edificações Editora PINI, São Paulo 1988, p. 57-60.
- CINCOTTO, M. A. **Utilização de subproduto na indústria da construção civil.** In: Publicação IPT 2283, São Paulo, 1995.

- COELHO, P.E et alli. Construction & Demolition debris sample make concrete with tensile strength above primary aggregates concrete. *In: II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental - Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental*. Porto Alegre, 26-28 Out. 1998: ANTAC, 1998.
- COTECAP & CTCCA. Contrafortes termoplásticos: uso correto. **Tecnicouro**. Novo Hamburgo, mai/jun, 1985.
- CTCCA; COTECAP. Contrafortes termoplásticos: uso correto. *In: Congresso Brasileiro de Tecnologia do calçado, 2*. Novo Hamburgo, 1985. P. 15-17; **Tecnicouro**, 1986, Novo Hamburgo, mar/abril (suplemento especial).
- CTCCA. Calçados, componentes e matérias-primas/ Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins. Novo Hamburgo? CTCCA, 1994. Série Couro Calçados e Afins, v.7. 110p.
- DEER. W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **An Introduction to the rock forming minerals**. Longmans, Green and Co., Ltd. London, 1966.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário Nacional Mineral**. - Divisão de Economia Mineral, 1997.
- DIAS, A. M. N. **Gesso de construção; caracterização do pó, pasta e argamassa e aplicação como revestimento interno**. São Paulo, Escola Politécnica, 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade de São Paulo.
- FERREIRA, A.; et alli. A cinza de casca de arroz: possibilidades de utilização como insumo na produção de materiais de construção. *In: I Encontro Nacional sobre edificações sustentáveis*. Canela, 18-21 Nov., 1997. Porto Alegre: ANTAC, 1997
- GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de E. V. A. (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil**. Dissertação. Escola de Engenharia Porto Alegre, UFRGS, 1998.

- GARLET, G.; GREVEN, A.H. Aproveitamento de resíduos de E.V.A. da indústria calçadista na construção civil. *In: Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.
- GEYER, R.T. et alli. Perspectivas de reciclagem de resíduos da indústria siderúrgica como material de construção civil. *In: I Encontro Nacional sobre edificações sustentáveis.* Canela, 18-21 Nov., 1997. Porto Alegre: Antac, 1997.
- HAMASSAKI, L. T.; et alli. Uso de entulho como agregado para argamassa de alvenaria. *In: Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.
- HINCAPIE, A.M.; CINCOTTO, M.A. Efeito de retardadores de pega no mecanismo de hidratação e na microestrutura do gesso de construção. In Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído/Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - v.1, n.2 (juldez 1997) São Paulo: ANTAC, 1997.
- ISAIA, G. C. Entraves e perspectivas para uso de elevados teores de cinza volante e cinza de casca de arroz em construção civil. *In: Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.
- JOHN, V.M.; AGOPYAN, V.; PRADO, T.A.. Durabilidade de compósitos de cimento e fibras vegetais. *In: Durabilidade das Construções.* São Leopoldo, 1-2 Jun 1997. São Leopoldo: ANTAC, 1997.
- JOHN, V. M. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. *In: Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1997.
- JOHN, V. M.; ROCHA, J. C.; SAVASTANO Jr., H.; CINCOTTO, M. A.. Reciclagem de resíduos como materiais de construção - conclusões do *workshop*. *In: Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1997.

- JOHN, V.M.; TINKER J.A. Recycling waste as building materials: na internet database. In **Materials and technologies for Sustainabile Construction. CIB world Builden Congress.** Gävle, Sweden, 7-12 june, 1998.
- JOHN, V.M. **Desenvolvimento Sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar.** <http://www.recycle.pcc.usp.br> (1999).
- JOHN, V.M. **A construção e o meio ambiente.** <http://www.recycle.pcc.usp.br> (1999).
- JOHN, V.M. Panorama da reciclagem na construção civil. Qualidade na construção. n. 20 ano III. São Paulo: SINDUSCON, 1999.
- KAZMIERCZAK, C. S. Desenvolvimento de Componentes para a construção civil a partir de resíduos da indústria calçadista - metodologia. *In. Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.
- KAZMIERCZAK, C.S.; KERN, A.P.; et alli. Utilização de resíduos da indústria coureiro calçadista no desenvolvimento de um novo material para a construção civil. *In: II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental - Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental.* Porto Alegre, 26-28 Out. 1998: ANTAC, 1998.
- KIRSCH, H. **Mineralogia Aplicada: para engenheiros, tecnólogos e estudantes.** Traduzido por Rui Ribeiro Franco. São Paulo, Polígono. Ed. Universidade de São Paulo, 1972.
- KULAKOWSKI, M. P.; et alli. Utilização do pó gerado na produção de ligas de ferro-silício metálico em material de construção. *In. Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.
- LEVY, S. M.; HELENE, P.R.L. Propriedades mecânicas de argamassas produzidas com entulho de construção civil. *In. Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.

- LIMA, M.A. O Significado ético das práticas de desenvolvimento sustentável. In: I encontro nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis. **Anais** Canela RS, 18 a 21 de novembro de 1997
- LUDWIG, U.; SINGH, N. Hydration of hemidrate of gypsum and its supersaturation. **Cement and Concrete Research**, v. 8, p.291-300, 1978.
- LUZ, J.A. Pré-fabricados para calçados: laboratório de processos industriais. **Escola do Calçado SENAI**. Novo Hamburgo, out, 1987.
- MASUERO, A. B.; et alli. Resíduos da Indústria Coureira: caracterização e potencialidade de uso da cinza de serragem cromada. *In*. **Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil**. São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.
- MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.R.M. **Concrete: structure, properties and materials**. 2. Ed. Englewood Cliffs: prentice-Hall, 1992
- MORRISON, L.F.; SHAH, S.P.; JENQ, Y.S. Analysis of fiber debonding and pullof in composites. **Journal of Engineering Mechanics**, v. 114, n.2, p. 277-294, Feb. 1988.
- NAHAS, M. C. et alii. **Solid reesíduo. Treatment and disposal in São Paulo, Environmental aspects**. In: 1º ENVIROTECH e 3º ECO'URBS. Rio de Janeiro, 1995.
- NIEWOHNER, U.; KUNZ, E.R. Novo processo de montagem: contraforte com tempo aberto. **Técnicouro**. Novo Hamburgo, mai, 1991.
- OKASAKI, O. Bidim permite ganho de resistência ao calçado. **Lançamento Máquinas e Componentes**, Novo Hamburgo/RS, mai/jun 1988, v.20, p.83
- OLIVEIRA, C.T.A.; SELMO, S.M.S; AGOPYAN, V. Produção e avaliação de desempenho de painel de GRG para vedação vertical interna. Revista da Associação Nacional de

Tecnologia do Ambiente Construído/Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - v.1, n.2 (jul/1997) São Paulo: ANTAC, 1997

PERA, J. State of the art report - use of waste materials in construction in western Europe. *In*. **Workshop Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil**. São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1997.

PINTO, T. P. Reciclagem de resíduos da construção civil urbana no Brasil. Situação atual. *In*. **Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil**. São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.

POZZOBON, C.E; et alli. Diretrizes para avaliação e uso de resíduos sólidos industriais na transferência tecnológica. *In*: **II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental - Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental**. Porto Alegre, 26-28 Out. 1998: ANTAC, 1998.

PRUDÊNCIO Jr, L.R.; SANTOS, S. Influência do grau de moagem na pozolanicidade da cinza de casca de arroz. *In*. **Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil**. São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.

ROLIM, M. M./ FREIRE, W. J. Solo-vinhaça concentrada: aplicação na fabricação de tijolos. *In*. **Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil**. São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.

SANTOS, I. S. S; **Caracterização de alguns gessos do mercado nacional para aplicação na construção civil**. São Paulo, 1983. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SANTOS, I. S. S; **A influência da relação água-gesso nas propriedades mecânicas do fibrogesso**. São Paulo, 1988. Tese (Doutorado em Engenharia) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SANTOS, I. S. S.; et allii. Aproveitamento de resíduo industrial para aplicação em componentes construtivos tijolos e blocos para habitação de interesse social. *In*: **II**

**Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental - Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental.** Porto Alegre, 26-28 Out. 1998: ANTAC, 1998.

SARMIENTO, C. S. R.; FREIRE, W. J. Tratamentos aplicados ao bagaço de cana-de-acúcar visando sua utilização para fins de material de construção. *In. Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.

SAVASTANO JR., H; DANTAS, F.A.S.; AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras: correlação entre a zona de transição fibra-matriz e as propriedades mecânicas.** São Paulo, IPT/Pini, 1994. (Publicação IPT 2158 - Boletim 67)

SAVASTANO Jr, H.; AGOPYAN, V. Microestrutura X desempenho dos compósitos reforçados com fibras vegetais. *In. Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.

SAVASTANO Jr, H.; AGOPYAN, V. Análise microestrutural aplicada ao estudo de compósitos fibrosos. *In. Durabilidade das Construções.* São Leopoldo, 1 - 2 Jun 1997. São Leopoldo: ANTAC, 1997.

SAVASTANO Jr, **Fibras de coco em argamassas de cimento portland para produção de componentes de construção civil.** São Paulo - Tese - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1987.

SCHERER, A. **Materiais.** Porto Alegre (RS), SENAI - Centro Tecnológico do Calçado, 1994, 1-66 e 117-128

SCHMIDT, Marcus M. Contrafortes - dados importantes para a sua avaliação. **Couro, Calçados e Componentes - Prevenção e solução de problemas.** - São Leopoldo, 1992.

SILVA, M. G.; et alli. Painéis de cimentos de escória reforçados com fibra de vidro E (E-GRS). *In. Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.

- SILVA, M. G.; et alli. Reciclagem de cinza de casca de eucalipto e entulho de obra de componentes de construção. *In: Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.
- SILVA, A. P.; STARLING, C.M.D.; ARAÚJO, P.H.M. Estudo do desempenho físico e mecânico em gesso aditivado para acabamentos na construção civil. *In: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.* Florianópolis, 27-30 Abr. 1998. Florianópolis: ANTAC 1998.
- SILVEIRA, A. A.; et alli A cinza de casca de arroz como adição mineral. *In: Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.* São Paulo, 25 - 26 Nov. 1996. São Paulo: ANTAC, 1996.
- SJÖSTROM, C. Durability and sustainable use of building materials. *In: Sustainable use of materials.* J.W. Liewellyn & H. Davies editors. (London BRE/RILEM, 1992).
- SUMÁRIO MINERAL BRASILEIRO - Departamento Nacional de Produção Mineral - Divisão de Economia Mineral, 1997.
- TAKEDA, M. C.; et alli. Uma alternativa potencial para o problema do fosfogesso. *In: II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental - Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental.* Porto Alegre, 26-28 Out. 1998: ANTAC, 1998.
- TRINDADE, O. S.; FIGUEIREDO, M. A. *Aterro sanitário. Aspectos Estruturais e Ambientais.* Ed. Pallotti, 1982. 95p.
- UNIÃO INTERNACIONAL DAS ASSOCIAÇÕES DE TÉCNICOS E QUÍMICOS EM COURO - Comissão para ensaios Físicos em Couro - **Método IUP/6.**

## ANEXO A

# RELATÓRIOS SOBRE BIODETERIORAÇÃO DOS CONTRAFORTES E USO DE FUNGICIDAS

A seguir são apresentados os relatórios dos estudos sobre biodeterioração dos resíduos de contrafortes e sobre o uso de fungicidas, emitidos pelo Departamento de Biologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Laboratório de Genética - Setor de Insetos Sociais.

As amostras denominadas ALP, ALD, ALM, AIA, BIM e ALMF, referem-se respectivamente à:

ALP = amostra de contraforte termoplástico laminado na forma de placa;

ALD = amostra de contraforte termoplástico laminado, colhida após o corte das peças de contraforte;

ALM = amostra de contraforte termoplástico laminado, colhida após a moagem;

AIA = amostra de contraforte termoplástico impregnado, na forma de placa;

BIM = amostra de contraforte termoplástico impregnado, colhida após a moagem;

ALMF = amostra de contraforte termoplástico laminado, com contaminação aparente de fungos;

# OCORRÊNCIA DE FUNGOS FILAMENTOSOS EM AMOSTRAS DE RESÍDUO DE CONTRAFORTE UTILIZADO EM INDÚSTRIAS DE CALÇADOS

RESPONSÁVEL: MARCIA ELOISA DA SILVA

LABORATÓRIO DE GENÉTICA: SETOR DE INSETOS SOCIAIS

## RELATÓRIO

Resíduos de contraforte (utilizados na indústria de calçados) vêm sendo incorporados a outros materiais com a finalidade de reaproveitar os primeiros. Entretanto, foi verificada a contaminação deste resíduo por fungos deterioradores, comprometendo assim, a estabilidade do produto final. O presente trabalho se propôs a verificar se amostras de resíduos de contraforte, poderiam ser facilmente contaminadas por fungos deterioradores e se ao serem incorporadas aos demais materiais esta contaminação persistia, para então buscar alternativas ao problema. Com esta finalidade isolou-se e identificou-se fungos filamentosos presentes em amostras do resíduo de contraforte. Verificou-se ainda o efeito da hidratação com relação a contaminação por fungos em amostras de contraforte e em amostras de contraforte adicionadas aos demais materiais para serem reaproveitadas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. ISOLAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS DE AMOSTRAS DE CONTRAFORTE

As amostras do material a serem analisadas receberam as seguintes denominações ALP, ALD, ALM (já formando lâminas), AIA, BIM e ALMF (este último com manchas escuras indicando contaminação).

Amostras de 1cm<sup>2</sup> do contraforte (com manchas de fungo) foram colocadas sobre o meio de Batata-dextrose-ágar (BDA) em placas de Petri (cinco placas por amostra) e incubadas a 28°C e fotofase de 12 horas por 8 dias. Após este período os fungos filamentosos, que cresceram sobre o meio de cultura foram transferidos para novas placas com BDA com a finalidade de se obter culturas

axênicas. Após a repicagem as placas foram colocadas em estufa de cultura por 8 dias a 28°C e fotofase de 12 horas para então serem identificadas. O mesmo procedimento foi feito com amostras de contraforte sem contaminação aparente e com amostras já aderidas aos demais materiais constituindo lâminas.

## 2.2. EFEITO DA HIDRATAÇÃO SOBRE AS AMOSTRAS DE CONTRAFORTE

Cinco amostras de 1cm<sup>2</sup> do contraforte, e das lâminas (contraforte aderido aos demais materiais) foram colocadas em câmaras úmidas e mantidas à temperatura de 28°C e fotofase de 12 horas durante seis a oito dias. Após este período iniciaram-se as observações semanais para verificar se houve crescimento de fungos filamentosos (Figura 1).

## 2.3. CÂMARA TROPICAL

Amostras das lâminas (ALP, ALD e AIA) sem contaminação aparente foram colocadas em câmara tropical. Esta câmara foi constituída de solo (uma camada de 2cm) no qual adicionou-se 10ml de suspensões (10<sup>6</sup> conídios/ml) de cada um dos fungos a seguir isolados (das amostras): *Cladosporium*, *Penicillium*, *Gliocladium*, *Trichoderma*, *Nigrospora* e *Rhizopus*. Utilizou-se também fungos da coleção do laboratório como: *Aspergillus niger* e *Aspergillus flavus* (estas duas espécies de fungos são isoladas constantemente de vários substratos e são utilizadas em testes de resistência). A câmara foi mantida à temperatura de 28°C e fotofase de 12 horas e a partir do oitavo dia iniciaram-se as observações diárias (Figura 2).

## 3. RESULTADOS

### 3.1. ISOLAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DOS FUNGOS FILAMENTOSOS DAS AMOSTRAS ANALISADAS

Os gêneros mais representativos foram *Trichoderma* e *Penicillium* (Tabela 1). O gênero *Penicillium* desenvolveu-se bem crescendo inclusive sobre as amostras de ALP (Figura 3). Os fungos *Cladosporium* e *Penicillium* cresceram nas placas onde foram colocadas amostras de ALM, porém não cresceram sobre as amostras (Figura 3). Nas amostras de ALD (Figura 4) os fungos que cresceram foram *Trichoderma*, *Fusarium*, *Nigrospora* e *Penicillium*, os quais cresceram também sobre as amostras. Na figura 5, pode-se observar estruturas do fungo crescidas sobre a amostra (microscópio

óptico, aumento 100x). Das amostras tipo AIA foram isolados os fungos dos gêneros *Trichoderma*, *Aspergillus* (do grupo glaucus), os quais cresceram sobre as amostras, já o gênero *Penicillium* que também foi isolado destas amostras não cresceu sobre as mesmas (Figura 6). Na figura 7 pode-se observar o fungo *Aspergillus* crescendo sobre amostra de AIA (microscópio óptico, aumento 100x). Nas amostras de BIM o fungo que apresentou crescimento sobre as mesmas foi *Rhizopus*, embora também tenham sido isolados *Cladosporium*, *Trichoderma* e bactérias do gênero *Streptomyces* (Figura 8). Em ALMF os fungos *Gliocladium* e *Penicillium* desenvolveram-se inclusive sobre as amostras (Figura 9). Somente as amostras ALMF apresentavam manchas características de fungos antes dos testes. Nas demais estes fungos deveriam estar em fungistase (os esporos), pois assim que entraram em contato com o meio de cultura Batata-dextrose-ágar os mesmos começaram a desenvolver-se. O meio forneceu um substrato para os fungos e ao mesmo tempo um estímulo ao crescimento dos mesmos sobre a maioria das amostras (Tabela 1).

Tabela 1. Fungos isolados e identificados em placas com meio de cultura batata-dextrose-ágar.

AMOSTRAS	FUNGO
ALP	<i>Penicillium e Trichoderma</i>
ALD	<i>Penicillium, Trichoderma, Nigrospora, Fusarium</i>
AIA	<i>Penicillium, Trichoderma</i>
ALM	<i>Penicillium, Cladosporium,</i>
BIM	<i>Trichoderma, Cladosporium, Rhizopus e Streptomyces*</i>
ALMF	<i>Gliocladium e Penicillium</i>

\* *Streptomyces*: bactéria filamentosa Actinomiceto.

### 3.2. CÂMARAS ÚMIDAS

Após 25 dias da exposição das amostras em câmaras úmidas (cinco câmaras para cada tipo de amostra) as mesmas foram analisadas e quantificado o número de amostras apresentando manchas causadas por fungos (Tabela 2). Amostras retiradas das câmaras úmidas após 25 dias encontram-se em anexo (Anexo 1, 2, 3, 4, 5, 6). As amostras AIA, não apresentaram alterações, após este período. Nas amostras tipo BIM e ALM, houve crescimento de fungos sobre o papel filtro da câmara úmida mas sobre as amostras o crescimento não foi expressivo. As câmaras úmidas foram esterilizadas antes do teste, portanto os fungos que cresceram sobre as amostras ou sobre o papel filtro eram provenientes das

próprias amostras. Os esporos de fungos podem permanecer em fungistase durante longos períodos, quando as condições do ambiente se tornam favoráveis eles germinam, crescem e podem reproduzir-se. Neste trabalho ficou evidente que o aumento da umidade e a temperatura de 28°C (das câmaras úmidas) favoreceram o crescimento dos referidos fungos. A amostra ALMF já apresentava manchas causadas por fungos antes dos testes.

Tabela 2. Amostras apresentando manchas causadas por fungos em câmara úmida (após 25 dias).

AMOSTRAS	CRESCIMENTO
ALP (anexo 1)	Uma amostra com mancha amarelada
ALD (anexo 2)	Quatro amostras com crescimento (manchadas)
AIA (anexo 3)	Negativo nas cinco amostras
ALM (anexo 4)	Duas amostras com crescimento (manchadas)
BIM (anexo 5)	Duas amostras com crescimento (manchadas)
ALMF (anexo 6)	Cinco amostras com crescimento (manchadas)

### 3.3. CÂMARA TROPICAL

Após 17 dias da exposição das amostras (AIA, ALP e ALD) em câmara tropical foram averiguadas a ocorrência de manchas causadas por fungos (anexos 7, 8 e 9). A câmara tropical também favoreceu o desenvolvimento dos fungos sobre as amostras.

Segundo WAINWRIGHT (1995), pode-se encontrar fungos filamentosos em tecidos causando manchas escuras (reduzindo a força tensil), em vidros ópticos, quadros pintados causando degradação, particularmente em locais úmidos e quentes. Fungos como *Cladosporium resinae* atacam combustíveis (principalmente de avião) e lubrificantes. Tintas são degradadas por *Aureobasidium pullulans* e *Cladosporium* sp. Plásticos são decompostos pela ação de esterases e lipases produzidas por fungos como *Fusarium*. Epóxi, polietileno e polipropileno componentes de equipamentos elétricos são degradados por: *Cladosporium cladosporioides*, *Fusarium solani*, *Chaetomium globosum* e algumas espécies de *Penicillium*. O poliéster pode ser atacado por *Penicillium* e outros fungos causando a perda de peso e reduzindo a força tensil do poliuretano.

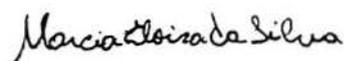
A partir dos resultados obtidos no presente trabalho novos testes com câmaras úmida e tropical deverão ser realizados, aumentando assim, a amostragem. Também será testada a resistência em placas

de cultura, utilizando-se fungos específicos, os quais serão inoculados sobre as amostras. Os resultados sugerem a possibilidade de que os diferentes materiais incorporados ao resíduo podem ou não favorecer o crescimento dos fungos (diferenças observadas entre as amostras AIA e ALD em alguns testes). Se estes resultados se confirmarem talvez seja possível retirar alguma substância que esteja favorecendo os fungos ou acrescentar alguma outra substância que impeça seu crescimento.

#### BIBLIOGRAFIA

- SILVEIRA, V. D. 1995. **Micologia**. 5ª ed., Rio de Janeiro, Varela. 336p.
- SMITH, G. 1963. **Introducción a la micología industrial**. Zaragoza, Espanha. Editorial Acribia S.A. 443p.
- WAINWRIGHT, M. 1995. **Introducción a la Biotecnología de los hongos**. Zaragoza, Espanha, Editorial Acribia, S. A. 227p.

São Leopoldo, 28 de outubro de 1998



Marcia Eloisa da Silva  
Ramal: 1215

# OCORRÊNCIA DE FUNGOS FILAMENTOSOS EM AMOSTRAS DE RESÍDUO DE CONTRAFORTE UTILIZADO EM INDÚSTRIAS DE CALÇADOS

RESPONSÁVEL: MARCIA ELOISA DA SILVA

LABORATÓRIO DE GENÉTICA: SETOR DE INSETOS SOCIAIS

## RELATÓRIO

Amostras das lâminas (ALD, ALP e AIA) foram mergulhadas em solução de 0,05% dos fungicidas Proxel GXL, Acticide WB 200, Acticide WB 600 (Letharin MK) durante 30 minutos e após foram colocadas em câmara tropical. Na câmara tropical foram inoculadas previamente suspensões dos fungos *Gliocladium*, *Trichoderma*, *Cladosporium* e *Aspergillus*. O teste iniciou no dia 23/03/99 e encerrou em 03/11/99 e mensalmente foram feitas observações para verificar a ocorrência ou não de manchas causadas pela contaminação das amostras pelos referidos fungos.

A partir das observações mensais (TABELA 1) constatou-se que nas amostras tratadas com os fungicidas ActicideWB 200 e Acticide WB 600 (Letharin MK) as manchas causadas pelos fungos começaram a aparecer mais tarde do que as manchas causadas pelo fungicida Proxel GXL. Após 6 meses em câmara tropical as amostras foram comparadas com uma escala diagramática, (utilizada em fitopatologia para avaliar a área do tecido foliar infectado por fungo fitopatogênico) para avaliar a porcentagem de área das amostras manchadas pelos fungos (TABELA 2). A lamina mais sensível ao ataque dos fungos foi a ALP, mesmo quando tratada com fungicidas, sendo que apresentou 100% da área de suas amostras manchadas e com deterioração acentuada ao final dos 6 meses da câmara tropical.

TABELA 1 - Ocorrência de manchas nas amostras de lâminas tratadas com fungicidas e mantidas em câmara tropical (durante 6 meses).

	05/04	05/05	07/06	05/07	05/08	08/09	05/10	03/11
AIA				AIA				
CONTROLE	s	m	m	m	m	m	m	m
GXL	s	s	s	m	m	m	m	m
WB-200	s	s	s	s	m	m	m	m
MK	s	s	s	s	s	m	m	m
ALD				ALD				
CONTROLE	s	s	m	m	m	m	m	m
GXL	s	s	m	m	m	m	m	m
WB-200	s	s	s	s	s	m	m	m
MK	s	s	s	s	s	s	m	m
ALP				ALP				
CONTROLE	s	m	m	m	m	m	m	m
GXL	s	m	m	m	m	m	m	m
WB-200	s	s	s	m	m	m	m	m
MK	s	s	s	m	m	m	m	m

(s) sem manchas

(m)com manchas

## ANEXO B

## RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS MECÂNICOS DO COMPÓSITO

**Tabela I** - Resultados de resistência à compressão dos corpos-de-prova ensaiados.

a) Variáveis: tipo de resíduo; teor de adição; forma de adensamento.

Teor de Adição (%)	Resíduo de Contraforte Impregnado				Resíduo de Contraforte Laminado			
	Adensamento Manual		Adensamento Mecânico		Adensamento Manual		Adensamento Mecânico	
	Resistência (MPa)		Resistência (MPa)		Resistência (MPa)		Resistência (MPa)	
0	14,90	Média=14,06	16,16	Média=15,20	14,90	Média=14,06	16,16	Média=15,20
	14,26	CV = 6,80	15,77	CV = 8,81	14,26	CV = 6,80	15,77	CV = 8,81
	13,02	S = 0,9	13,67	S = 1,33	13,02	S = 0,9	13,67	S = 1,33
10	7,02	Média = 7,72	10,20	Média = 9,79	13,72	Média= 12,74	12,77	Média= 12,28
	8,41	CV = 9,00	9,73	CV = 3,92	13,02	CV = 9,04	12,26	CV = 3,95
	7,74	S = 0,7	9,44	S = 0,38	11,47	S = 1,15	11,80	S = 0,48
15	8,58	Média = 8,49	10,00	Média = 9,89	11,43	Média= 11,03	11,33	Média= 11,51
	8,30	CV = 1,80	9,81	CV = 0,98	11,22	CV = 4,78	11,61	CV = 1,36
	8,60	S = 0,15	9,87	S = 0,40	10,43	S = 0,53	11,59	S = 0,16
20	8,53	Média = 8,38	10,22	Média = 10,4	11,00	Média= 10,96	10,63	Média= 10,82
	8,16	CV = 2,35	10,54	CV = 1,56	10,18	CV = 6,94	11,00	CV = 1,71
	8,46	S = 0,20	10,43	S = 0,16	11,70	S = 0,76	10,82	S = 0,18

CV = coeficiente de variação (%) S = desvio padrão (MPa)

b) Variáveis: Tipo de resíduo; relação água/gesso.

Água/Gesso	Resíduo de Contraforte Impregnado		Resíduo de Contraforte Laminado	
	Resistência (MPa)		Resistência (MPa)	
0,57	8,53	Média = 8,38	11,00	Média = 10,96
	8,16	CV = 2,34	10,18	CV = 6,94
	8,46	S = 0,19	11,70	S = 0,76
0,60	6,07	Média = 5,95	8,31	Média = 8,08
	5,62	CV = 4,86	8,31	CV = 5,00
	6,16	S = 0,29	7,61	S = 0,740
0,65	4,25	Média = 4,18	4,28	Média = 5,02
	4,38	CV = 5,94	5,52	CV = 13,08
	3,90	S = 0,25	5,28	S = 0,66
0,70	3,72	Média = 3,73	5,25	Média = 5,28
	3,78	CV = 1,22	5,18	CV = 2,13
	3,69	S = 0,05	5,40	S = 0,11

CV = coeficiente de variação (%) S = desvio padrão (MPa)

**Tabela II** - Resultados de resistência ao impacto dos corpos-de-prova ensaiados.

a) Variáveis: tipo de resíduo; módulo de finura; teor de adição.

Altura de queda (cm)	Energia (J)	ABERTURA DA FISSURA (mm)															
		Resíduo de Contraforte Impregnado								Resíduo de Contraforte Laminado							
		MF = 4,3				MF = 5,9				MF = 4,3				MF = 5,9			
		10%	15%	20%	25%	10%	15%	20%	25%	10%	15%	20%	25%	10%	15%	20%	25%
15	0,94	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
20	2,21	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
25	3,78	0,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
30	5,67	0,2	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
35	7,87	0,2	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
40	10,40	0,3	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1
45	13,23	0,4	2,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1
50	16,38	0,6		0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1
55	19,85	0,7		0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,3	0,2	0,1	0,1
60	23,63	0,8		0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,1	0,0	0,3	0,2	0,1	0,1
65	27,72	1,2		0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2
70	32,13	2,0		0,3	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2
75	36,86	2,5		0,3	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,4	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2
80	41,90			0,4	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,4	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,1	0,2
85	47,25			0,4	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,5	0,1	0,1	0,2	0,5	0,3	0,1	0,2
90	52,93			0,7	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1	0,2	0,2	0,5	0,4	0,1	0,2
95	58,91			0,9	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1	0,2	0,2	0,6	0,5	0,2	0,2
100	65,21			1,0	0,4	0,5	0,2	0,1	0,2	0,5	0,1	0,3	0,2	0,6	0,5	0,2	0,2
105	71,82			1,0	0,5	0,5	0,2	0,1	0,2	0,6	0,1	0,3	0,2	0,6	0,6	0,2	0,2
110	78,76			1,1	0,7	0,5	0,2	0,1	0,3	0,9	0,1	0,3	0,2	0,6	0,6	0,2	0,2
115	86,00			1,4	1,0	0,5	0,2	0,1	0,4	0,9	0,2	0,4	0,2	0,6	0,7	0,3	0,2
120	93,56			1,7	1,2	0,7	0,2	0,1	0,5	1,0	0,2	0,4	0,2	0,7	0,7	0,3	0,2
125	101,44			2,7	1,9	0,8	0,3	0,1	0,5	1,0	0,2	0,5	0,2	0,9	0,7	0,3	0,3
130	109,63				2,2	1,1	0,3	0,1	0,7	1,1	0,2	0,5	0,2	0,9	0,7	0,4	0,3
135	118,13				3,0	1,5	0,4	0,2	0,9	2,0	0,3	0,5	0,2	0,9	0,7	0,4	0,4
140	126,95					1,6	0,8	0,2	1,0	3,0	0,3	0,8	0,2	1,0	0,8	0,5	0,4
145	136,09					2,0	1,0	0,2	1,2		0,3	1,2	0,2	1,0	0,8	0,5	0,4
150	145,54					2,0	1,1	0,2	1,2		0,4	1,2	0,2	1,1	0,8	0,5	0,4
155	155,31					2,2	1,3	0,2	1,4		0,4	1,6	0,2	1,1	0,8	0,5	0,4
160	165,39					3,3	1,7	0,2	1,5		0,4	1,6	0,3	1,1	0,9	0,8	0,4
165	175,78					4,0	1,9	0,3	1,5		0,4	2,1	0,3	1,2	1,0	0,8	0,4
170	186,49						2,2	0,4	2,0		0,4	2,4	0,3	1,2	1,0	0,9	0,4
175	197,52						3,1	0,4	2,0		0,6	2,8	0,3	1,2	1,1	0,9	0,4
180	208,86						3,5	0,4	2,4		0,6	2,9	0,3	1,5	1,2	0,9	0,5
185	220,51						3,8	0,5	2,6		0,6	4,0	0,3	1,7	1,2	0,9	0,5
190	232,49						4,0	0,5	2,8		0,7	5,0	0,3	1,8	1,2	0,9	0,5
195	244,77						4,8	1,0	3,3		0,7		0,3	2,0	1,3	0,9	0,5
200	257,37						6,5	1,0	3,3		0,7		0,3	2,0	1,5	0,9	0,5

b) Variáveis: tipo de resíduo e teor de adição.

Altura queda (cm)	Energia (J)	ABERTURA DA FISSURA (mm)											
		Resíduo de Contraforte Impregnado						Resíduo de Contraforte Laminado					
		Adição 20%			Adição 25%			Adição 20%			Adição 25%		
15	0,94	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0*	0,0	0,0	0,0
20	2,21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
25	3,78	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
30	5,67	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
35	7,87	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1
40	10,40	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
45	13,23	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
50	16,38	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
55	19,85	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
60	23,63	0,4	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
65	27,72	0,5	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
70	32,13	0,5	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
75	36,86	0,9	0,2	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
80	41,90	0,9	0,2	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
85	47,25	1,1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,3
90	52,93	1,1	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,3
95	58,91	1,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,5	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,3
100	65,21	1,4	0,5	0,5	0,5	0,2	0,5	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,4
105	71,82	1,4	0,8	0,5	0,5	0,2	0,5	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,5
110	78,76	1,6	0,8	0,6	0,9	0,3	0,7	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,5
115	86,00	1,6	0,8	0,8	0,9	0,3	0,8	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,5
120	93,56	2,0	1,0	0,9	0,9	0,4	0,9	0,1	0,2	0,5	0,1	0,1	0,6
125	101,44	4,0	1,5	0,9	0,9	0,4	1,1	0,2	0,2	0,5	0,1	0,1	0,7
130	109,63	4,0	2,9	0,9	1,0	0,4	1,2	0,2	0,2	0,5	0,1	0,1	0,7
135	118,13	7,0	3,4	1,0	1,6	0,5	1,3	0,2	0,2	0,5	0,1	0,2	0,8
140	126,95		5,0	1,6	1,6	0,6	1,3	0,2	0,2	0,5	0,1	0,2	0,8
145	136,09		7,4	2,0	1,7	0,7	1,3	0,2	0,3	0,5	0,1	0,2	0,9
150	145,54		9,3	2,8	1,7	0,7	1,3	0,3	0,3	1,0	0,1	0,2	0,9
155	155,31			3,1	1,7	0,7	1,3	0,3	0,4	1,2	0,1	0,2	0,9
160	165,39			5,0	2,9	0,8	1,4	0,3	0,4	2,0	0,1	0,2	0,9
165	175,78			6,5	3,7	0,8	1,6	0,3	0,4	3,4	0,1	0,2	0,9
170	186,49				3,7	0,8	2,1	0,3	0,4	4,6	0,1	0,2	0,9
175	197,52				4,0	1,1	2,8	0,3	0,5	5,6	0,1	0,2	0,9
180	208,86				7,5	1,4	3,9	0,3	0,5	6,5	0,1	0,2	1,0
185	220,51					1,7	9,7	0,3	0,6	7,2	0,1	0,2	1,0
190	232,49					2,3		0,4	0,7	7,2	0,1	0,2	1,0
195	244,77					2,6		0,4	0,7	7,2	0,1	0,3	1,0
200	257,37					4,5		0,4	0,7	7,2	0,2	0,3	1,2

\* Corpo-de-prova não considerado por apresentar problemas de moldagem.

c) Variável: relação água/gesso  
(adição de 20% de resíduo de contraforte impregnado)

Altura (cm)	Energia (J)	ABERTURA DA FISSURA (mm)											
		A/G = 0,57			A/G = 0,60			A/G = 0,65			A/G = 0,70		
15	0.94	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0*	0,0	0,0	0,0	0,0
20	2.21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	3.78	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
30	5.67	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
35	7.87	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	0,1
40	10.40	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,5	0,1	0,2	0,1	0,3
45	13.23	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,8	0,2	0,3	0,2	0,3
50	16.38	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1		0,5	0,3	0,3	0,5
55	19.85	0,4	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1		1,0	0,3	0,5	0,6
60	23.63	0,4	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1		1,5	0,5	0,7	1,0
65	27.72	0,5	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2		1,7	0,5	1,0	1,0
70	32.13	0,5	0,1	0,3	0,6	0,2	0,2	0,3		2,0	0,6	2,0	1,5
75	36.86	0,9	0,2	0,3	0,6	0,2	0,2	0,5		2,2	1,0	2,5	2,0
80	41.90	0,9	0,2	0,3	1,0	0,3	0,2	0,5		3,0	1,4	3,5	3,0
85	47.25	1,1	0,3	0,3	1,1	0,4	0,3	0,7			2,5	4,0	
90	52.93	1,1	0,3	0,4	1,4	0,4	0,6	1,0			4,0		
95	58.91	1,4	0,4	0,4	1,8	0,5	0,6	1,1					
100	65.21	1,4	0,5	0,5	2,0	0,7	0,8	1,3					
105	71.82	1,4	0,8	0,5	3,0	1,0	0,8	1,5					
110	78.76	1,6	0,8	0,6	3,5	1,0	0,9	2,0					
115	86.00	1,6	0,8	0,8		1,4	1,6	2,3					
120	93.56	2,0	1,0	0,9		1,7	2,0	3,0					
125	101.44	4,0	1,5	0,9		2,0	2,0	3,0					
130	109.63	4,0	2,9	0,9		2,8	2,4						
135	118.13	7,0	3,4	1,0		3,8	3,0						
140	126.95		5,0	1,6			4,2						
145	136.09		7,4	2,0			6,0						
150	145.54		9,3	2,8									
155	155.31			3,1									
160	165.39			5,0									
165	175.78			6,5									
170	186.49												
175	197.52												
180	208.86												
185	220.51												
190	232.49												
195	244.77												
200	257.37												

\* Corpo-de-prova não considerado por apresentar problemas de moldagem.

d) Variável: relação água/gesso  
(adição de 20% de resíduo de contraforte laminado)

Altura (cm)	Energia (J)	ABERTURA DA FISSURA (mm)											
		A/G = 0,57			A/G = 0,60			A/G = 0,65			A/G = 0,70		
15	0,94	0,0	0,1	0,0*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	2,21	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	3,78	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	5,67	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
35	7,87	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40	10,40	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
45	13,23	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
50	16,38	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
55	19,85	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
60	23,63	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0
65	27,72	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0
70	32,13	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,0
75	36,86	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,4	0,2	0,3	0,5	0,0
80	41,90	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,3	0,5	0,3	0,5	0,6	0,1
85	47,25	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,5	0,6	0,3	0,6	0,7	0,1
90	52,93	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,5	0,6	0,3	0,6	0,7	0,1
95	58,91	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,5	0,8	0,3	0,8	1,2	0,1
100	65,21	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,6	0,8	0,3	1,0	1,5	0,1
105	71,82	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,8	1,2	0,3	1,0	1,9	0,1
110	78,76	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,9	1,5	0,3	1,2	2,5	0,1
115	86,00	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	1,0	1,6	0,4	1,4	3,0	0,1
120	93,56	0,1	0,2	0,5	0,3	0,1	0,2	1,2	2,1	0,4	1,6	3,3	0,1
125	101,44	0,2	0,2	0,5	0,4	0,1	0,2	1,3	2,5	0,4	1,9	3,3	0,1
130	109,63	0,2	0,2	0,5	0,4	0,2	0,2	1,3	3,5	0,5	2,0	3,5	0,1
135	118,13	0,2	0,2	0,5	0,4	0,2	0,3	1,5	3,5	0,5	2,2	4,0	0,1
140	126,95	0,2	0,2	0,5	0,4	0,2	0,3	1,7	4,5	0,5	2,5	4,6	0,1
145	136,09	0,2	0,3	0,5	0,4	0,2	0,3	1,8		0,5	3,0	5,1	0,3
150	145,54	0,3	0,3	1,0	0,5	0,2	0,4	2,0		0,7	3,8	5,5	0,5
155	155,31	0,3	0,4	1,2	0,5	0,3	0,5	2,5		0,7	4,0	5,5	0,5
160	165,39	0,3	0,4	2,0	0,5	0,3	0,5	3,5		0,8	4,2	6,0	0,6
165	175,78	0,3	0,4	3,4	0,5	0,4	0,5	3,7		0,8	5,8	7,0	0,6
170	186,49	0,3	0,4	4,6	0,6	0,4	0,6	5,0		0,9	6,0		0,6
175	197,52	0,3	0,5	5,6	0,6	0,4	0,6	6,0		1,0	8,0		1,2
180	208,86	0,3	0,5	6,5	0,8	0,5	0,6	6,0		1,0			1,2
185	220,51	0,3	0,6	7,2	0,9	0,5	0,7	6,5		1,2			2,0
190	232,49	0,4	0,7	7,2	1,0	0,5	0,7			1,4			2,0
195	244,77	0,4	0,7	7,2	1,0	0,5	0,9			1,4			2,5
200	257,37	0,4	0,7	7,2	1,1	0,5	0,9			1,4			2,5

\* Corpo-de-prova não considerado por apresentar problemas de moldagem.

e) Variável: composição da adição.  
(teor de adição de 20%)

Altura Queda (cm)	Energia (J)	ABERTURA DA FISSURA (mm)								
		Adição mista de resíduos - Teor de adição 20%								
		50% CTI + 50% CTL			75% CTI + 25% CTL			25% CTI + 75% CTL		
15	0,94	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	2,21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	3,78	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	5,67	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
35	7,87	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
40	10,40	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
45	13,23	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
50	16,38	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
55	19,85	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
60	23,63	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
65	27,72	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
70	32,13	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
75	36,86	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
80	41,90	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
85	47,25	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
90	52,93	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
95	58,91	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
100	65,21	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
105	71,82	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
110	78,76	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2
115	86,00	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
120	93,56	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
125	101,44	0,2	0,2	0,1	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
130	109,63	0,2	0,2	0,1	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
135	118,13	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	0,3	0,2	0,3	0,2
140	126,95	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,3	0,2	0,4	0,2
145	136,09	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	0,6	0,2	0,4	0,3
150	145,54	0,2	0,2	0,2	0,7	0,7	0,6	0,2	0,4	0,4
155	155,31	0,2	0,2	0,2	0,7	0,8	0,6	0,2	0,5	0,4
160	165,39	0,2	0,2	0,2	0,7	0,8	0,8	0,2	0,6	0,4
165	175,78	0,3	0,2	0,3	0,8	0,9	0,8	0,3	0,7	0,4
170	186,49	0,3	0,2	0,4	0,8	0,9	0,8	0,3	0,8	0,4
175	197,52	0,3	0,3	0,5	0,8	0,9	0,8	0,5	0,8	0,5
180	208,86	0,4	0,3	0,6	0,8	1,0	0,8	0,8	0,9	0,6
185	220,51	0,4	0,3	0,8	0,9	1,0	0,8	0,9	1,0	0,7
190	232,49	0,4	0,4	0,9	0,9	1,4	0,8	1,0	1,0	0,8
195	244,77	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	0,8	1,1	1,0	0,8
200	257,37	0,5	0,5	1,2	1,1	1,9	0,8	1,2	1,2	0,8

f) Variável: composição da adição.  
(teor de adição de 25%)

Altura Queda (cm)	Energia (J)	ABERTURA DA FISSURA (mm)								
		Adição mista de resíduos - Teor de adição 25%								
		50% CTI + 50% CTL			75% CTI + 25% CTL			25% CTI + 75% CTL		
15	0,94	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	2,21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	3,78	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	5,67	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
35	7,87	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
40	10,40	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
45	13,23	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
50	16,38	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
55	19,85	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
60	23,63	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
65	27,72	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
70	32,13	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
75	36,86	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
80	41,90	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
85	47,25	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
90	52,93	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
95	58,91	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
100	65,21	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
105	71,82	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
110	78,76	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
115	86,00	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
120	93,56	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1
125	101,44	0,3	0,3	0,3	0,1	0,4	0,2	0,3	0,1	0,1
130	109,63	0,4	0,3	0,3	0,1	0,5	0,4	0,3	0,1	0,1
135	118,13	0,4	0,3	0,3	0,2	0,5	0,4	0,4	0,1	0,1
140	126,95	0,4	0,4	0,4	0,2	0,5	0,5	0,4	0,1	0,1
145	136,09	0,4	0,4	0,4	0,2	0,6	0,5	0,4	0,1	0,1
150	145,54	0,5	0,4	0,4	0,2	0,6	0,6	0,4	0,1	0,1
155	155,31	0,5	0,4	0,4	0,2	0,7	0,6	0,5	0,1	0,1
160	165,39	0,5	0,4	0,4	0,3	0,7	0,6	0,5	0,2	0,1
165	175,78	0,5	0,4	0,5	0,4	0,9	0,8	0,8	0,2	0,1
170	186,49	0,5	0,4	0,7	0,4	1,1	0,8	0,8	0,2	0,1
175	197,52	0,6	0,4	0,7	0,5	1,4	0,9	0,8	0,2	0,1
180	208,86	0,7	0,4	0,8	0,6	1,6	0,9	1,0	0,2	0,1
185	220,51	0,8	0,4	0,8	0,7	1,8	0,9	1,0	0,2	0,2
190	232,49	0,8	0,5	0,8	0,8	1,9	1,2	1,0	0,2	0,2
195	244,77	0,9	0,5	0,8	0,9	2,1	1,2	1,0	0,2	0,2
200	257,37	0,9	0,5	0,9	1,0	2,3	1,6	1,0	0,2	0,2

Tabela III - Resultados de resistência à tração na flexão dos corpos-de-prova .

a) Variáveis: tipo de resíduo e teor de adição.

Def. (mm)	CARGA APLICADA (Kgf)														
	Sem adição			Resíduo Contraforte Impregnado						Resíduo Contraforte Laminado					
	0%			Adição 20%			Adição 25%			Adição 20%			Adição 25%		
0.1	2,4	0,0	15,1	5,7	5,9	8,9	10,4	3,7	6,4	8,9	2,2	13,1	19,6	22,3	8,9
0.2	2,4	3,9	33,6	14,4	10,4	14,6	11,3	3,9	9,2	17,3	3,4	20,9	28,5	40,5	20,4
0.3	7,4	12,4	50,7	29,8	16,1	24,1	15,0	14,1	11,2	28,6	19,4	29,6	30,0	47,0	34,6
0.4	18,4	29,8	70,1	31,3	24,1	24,8	21,1	24,9	14,4	43,3	35,8	36,8	38,3	54,0	49,5
0.5	32,6	47,3		32,3	22,3	24,1	25,3	40,0	24,6	45,0	50,0	40,5	39,5	61,5	54,5
0.6	45,0	69,9		31,6	22,1	25,1	29,8	40,3	38,5	50,7	55,0	45,0	37,0	57,5	58,2
0.7	61,1			29,8	21,9	26,1	35,1	44,3	38,8	49,3	59,5	48,3	39,0	61,2	63,0
0.8				28,1	21,9	26,8	38,8	46,3	39,0	51,2	61,7	55,7	40,0	60,5	63,7
0.9				26,3	21,4	27,3	40,1	44,8	37,3	54,2	63,7	60,0	40,8	63,7	63,7
1.0				24,6	21,1	26,6	41,3	44,8	35,0	55,0	63,7	60,0	42,0	63,7	66,7
2.0				11,4	10,7	14,9	42,0	30,1	16,1	48,8	46,0	61,0	21,0	49,3	38,0
3.0				6,2	0,0	0,0	34,6	14,4	1,9	37,3	23,6	42,3	10,2	33,6	21,9
4.0				2,7			21,1	4,7	0,0	24,1	10,9	22,1	0,0	13,4	11,4
5.0				0,0			3,2	0,0		16,4	3,9	5,7		5,2	0,0
6.0							0,0			10,7	0,0	0,0		0,0	
7.0										6,7					
8.0										3,7					
9.0										0,0					

b) Variável: relação água/gesso  
(adição de 20% de resíduos de contraforte impregnado)

Def. (mm)	CARGA APLICADA (Kgf)											
	A/G = 0,57			A/G = 0,60			A/G = 0,65			A/G = 0,70		
0.1	5,7	5,9	8,9	2,4	9,4	9,4	5,0	2,4	7,7	4,9	4,7	4,2
0.2	14,4	10,4	14,6	2,7	24,4	18,1	10,6	5,6	10,1	7,4	6,2	7,9
0.3	29,8	16,1	24,1	8,9	33,3	22,4	10,9	13,0	16,0	9,4	6,7	13,1
0.4	31,3	24,1	24,8	18,4	35,3	22,1	11,0	13,0	16,4	11,9	6,7	16,4
0.5	32,3	22,3	24,1	29,6	37,8	21,9	12,4	13,0	17,5	8,4	6,4	14,6
0.6	31,6	22,1	25,1	29,3	37,8	21,6	13,2	11,5	17,6	8,2	6,7	13,9
0.7	29,8	21,9	26,1	29,3	38,3	22,4	14,5	9,3	17,5	8,7	6,2	12,9
0.8	28,1	21,9	26,8	28,6	38,5	22,4	15,6	0,0	14,3	8,7	5,9	12,4
0.9	26,3	21,4	27,3	27,8	38,0	22,1	15,9		14,1	8,5	3,2	11,9
1.0	24,6	21,1	26,6	26,6	36,1	22,1	17,0		11,2	8,2	2,7	11,2
2.0	11,4	10,7	14,9	18,4	35,1	8,7	0		0,0	3,2	0,0	5,4
3.0	6,2	0,0	0,0	11,7	13,4	3,2				0,0		1,9
4.0	2,7			7,4	2,2	0,0						0,0
5.0	0,0			3,4	0,0							
6.0				0,0								
7.0												
8.0												
9.0												

b) Variável: relação água/gesso  
(adição de 20% de residuo de contraforte laminado)

Def. (mm)	CARGA APLICADA (Kgf)											
	A/G = 0,57			A/G = 0,60			A/G = 0,65			A/G = 0,70		
0.1	8,9	2,2	13,1	13,9	10,9	13,1	6,7	15,1	7,2	11,7	12,2	10,2
0.2	17,3	3,4	20,9	26,6	18,9	24,1	9,9	26,3	18,1	19,1	20,4	17,2
0.3	28,6	19,4	29,6	41,8	29,1	30,3	15,7	37,8	23,1	23,4	21,6	26,3
0.4	43,3	35,8	36,8	40,0	34,1	35,5	22,2	37,8	26,1	23,9	25,1	27,1
0.5	45,0	50,0	40,5	39,1	34,6	36,3	24,1	40,0	31,1	24,4	27,8	27,8
0.6	50,7	55,0	45,0	38,5	34,8	40,3	25,1	43,0	28,3	26,8	22,1	29,3
0.7	49,3	59,5	48,3	37,6	37,1	41,0	28,1	46,3	31,8	26,8	26,3	29,8
0.8	51,2	61,7	55,7	36,1	38,8	44,0	29,1	48,3	33,1	28,1	27,6	31,1
0.9	54,2	63,7	60,0	33,1	41,0	45,8	31,6	49,8	33,8	28,3	28,1	31,1
1.0	55,0	63,7	60,0	31,1	42,5	46,5	32,1	48,3	34,3	28,6	27,8	32,1
2.0	48,8	46,0	61,0	19,1	45,3	50,7	33,1	45,5	34,3	26,1	23,6	27,1
3.0	37,3	23,6	42,3	11,7	34,8	45,8	21,6	41,3	27,1	19,1	17,4	21,1
4.0	24,1	10,9	22,1	6,9	21,1	38,3	12,6	31,6	20,9	9,9	12,2	14,1
5.0	16,4	3,9	5,7	3,2	13,6	27,8	7,9	26,1	15,1	7,4	7,7	8,2
6.0	10,7	0,0	0,0	0,0	8,7	18,4	5,4	18,9	8,4	5,2	5,4	4,9
7.0	6,7				6,2	11,9	2,4	13,1	4,4	4,2	2,9	2,7
8.0	3,7				3,4	7,7	0,0	9,2	2,2	3,4	0,0	0,0
9.0	0,0				1,9	4,4		6,2	0,0	2,7		
10.0					0,0	0,0		3,7		0,0		
11.0								0,0				

d) Variável: composição da adição.  
(teor de adição de 20%)

Deform, (mm)	CARGA APLICADA (Kgf)								
	50% CTI + 50% CTL			75% CTI + 25% CTL			25% CTI + 75% CTL		
0.1	4,2	5,9	7,7*	4,2	19,6	3,9	4,4	8,3	3,2
0.2	7,4	6,2	7,7	5,2	31,6	5,9	4,4	13,0	7,3
0.3	11,9	16,0	7,7	7,9	31,8	11,2	15,9	16,1	13,0
0.4	17,6	36,8	9,7	11,4	35,8	23,4	32,1	22,1	24,6
0.5	22,9	58,3	10,7	18,4	34,8	35,8	38,8	44,0	11,8
0.6	32,3	58,3	11,7	24,4	34,8	43,9	39,8	43,3	37,6
0.7	29,8	62,0	11,7	25,8	35,3	41,8	41,0	51,0	42,0
0.8	32,8	62,2	11,4	26,0	37,6	42,3	41,3	51,7	46,0
0.9	34,8	65,9	8,7	27,8	38,5	43,6	42,5	42,7	46,8
1.0	35,3	66,9	0,0	19,4	39,0	43,8	43,3	27,6	45,0
2.0	23,6	55,2		5,2	31,3	26,8	14,6	42,7	30,0
3.0	10,4	31,3		0,0	16,6	20,6	6,9	27,6	26,6
4.0	3,2	12,3			0,0	12,9	2,2	17,4	18,9
5.0	0	7,2				8,7	0,0	10,6	12,9
6.0		3,2				5,4		4,9	9,9
7.0		0,0				3,4		1,9	8,2
8.0						0,0		0,0	6,2
9.0									5,2
10									3,4
11									2,4

\* Corpo-de-prova não considerado por apresentar problemas de moldagem.

e) Variável: composição da adição.  
(teor de adição de 25%)

Deform, (mm)	CARGA APLICADA (Kgf)								
	50% CTI + 50% CTL			75% CTI + 25% CTL			25% CTI + 75% CTL		
0.1	-	3,9	7,9	19,8	11,2	6,4	9,7	22,9	6,7
0.2	-	4,2	15,4	18,3	23,4	17,3	21,4	32,8	15,4
0.3	-	8,7	24,3	21,4	31,6	24,4	32,8	40,0	32,6
0.4	34,8	21,4	36,3	23,1	34,8	36,8	35,0	41,8	42,3
0.5	39,0	36,8	44,3	23,4	39,0	35,8	37,8	44,3	51,5
0.6	49,0	50,5	48,5	21,4	41,0	38,8	40,8	45,8	52,7
0.7	51,5	52,2	51,5	19,4	41,0	39,0	43,0	47,3	55,0
0.8	53,0	53,5	54,0	17,4	41,0	39,0	41,5	43,8	55,5
0.9	54,0	50,5	54,0	14,9	41,0	37,8	39,8	46,3	55,5
1.0	56,0	31,3	55,0	12,9	38,9	36,6	37,6	45,0	45,3
2.0	14,4	13,4	30,8	0,0	26,6	35,3	18,6	31,3	28,8
3.0	14,4	3,9	12,4		11,7	34,3	8,4	21,1	11,9
4.0	9,7	0,0	5,4		0,0	19,1	2,2	10,2	4,2
5.0	5,4		0,0			5,9	0,0	4,7	0,0
6.0	4,4					0,0		0,0	