



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS - UFG
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL - EEC
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL - CMEC

JANAINA FERNANDES E SILVA

**PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSA
REFORÇADA COM FIBRAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-
AÇÚCAR (FBC)**

Goiânia

2010

JANAINA FERNANDES E SILVA

**PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSA
REFORÇADA COM FIBRAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-
AÇÚCAR (FBC)**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
em Engenharia Civil – Escola de Engenharia
da Universidade Federal de Goiás – para
obtenção do Título de Mestre em Engenharia
Civil.

Área de Concentração:
Estruturas e Materiais de Construção

Orientador:
Prof. **Regis de Castro Ferreira, D.Sc**

Goiânia

2010

**PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSA
REFORÇADA COM FIBRAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-
AÇÚCAR (FBC)**

JANAINA FERNANDES E SILVA

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 09 de fevereiro de 2010, pela banca examinadora constituída pelos professores:

Professor Régis de Castro Ferreira, D.Sc (UFG)
(ORIENTADOR)

Professor Enio José Pazini Figueiredo, D.Sc (UFG)
(EXAMINADOR INTERNO)

Professor Holmer Savastano Jr., D.Sc (USP)
(EXAMINADOR EXTERNO)

*Aos meus amados pais Otaviano e
Silvânia... por todo carinho, amor e
incentivo ao longo desta jornada;*

*Ao meu esposo, Maximiliano, pelo
apoio, compreensão pelos tempos
ausentes...*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha existência e por todas as coisas.

Ao meu pai pelo incentivo para ter os estudos, em minha vida, como princípio fundamental para crescer e colaborar para o crescimento do mundo.

À minha mãe Silvânia, que a cada dia nos ensina que somos meros instrumentos, nas mãos de Deus, para construção de um mundo mais forte e digno. É no seu exemplo que galgo meus passos, mamãe.

Ao Prof. Regis de Castro Ferreira, meu orientador, pela dedicação, paciência, incentivo, confiança e apoio, sempre presente durante todo mestrado.

Ao Prof. Enio Pazini Figueiredo, pela colaboração e oportunidade, por ele a mim oferecida, de participar deste grupo de pesquisa e realização deste trabalho.

Ao Laboratório de Solos da Universidade Católica de Goiás e seus funcionários pelos ensaios executados.

Aos Laboratórios de análises das Usinas Jalles Machado S/A e Centroalcool pelas análises executadas.

Ao Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Goiás e seus funcionários pela realização de vários ensaios.

Ao Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Católica de Goiás e seus funcionários e estagiários pela realização de vários ensaios.

Aos funcionários e estagiários do Laboratório de Sementes da Escola de Agronomia/UFG, principalmente ao Prof. Dr. Régis pela colaboração no preparo do material em estudo.

À Rede Goiana de Pesquisa em Reciclagem de Resíduos Agroindustriais para a Construção Civil, financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás, FAPEG.

Aos professores e funcionários do CMEC/UFG, em especial ao Tancredo, sempre disposto a colaborar e aos funcionários do Laboratório de Materiais de Construção, Deusair, Manoel e Agnaldo.

Às Usinas sucroalcooleiras que contribuíram com o material para pesquisa e colaboraram na realização de visitas técnicas e ensaios.

Aos amigos e colegas do CMEC/UFG que contribuíram de diferentes formas para conclusão deste trabalho, Ariovaldo, Eneida, David, Poliana, Fábio, Michely, Jader, Isa, Carlos, Daniel e em especial à Lara.

À sociedade brasileira que por meio do Procad/Capes disponibilizaram minha bolsa de estudos e financiaram os materiais necessários para a pesquisa.

A toda minha família, tios (as), primos (as), e principalmente aos meus irmãos Amanda, Vanessa e Luís Otaviano juntamente com minha sobrinha, Yasmim, e ao meu esposo Maximiliano, pai do meu filho que carrego no ventre, que são a minha alegria e realmente dão o suporte social que satisfaz qualquer ser humano que o percebe.

RESUMO

Neste trabalho estão relatados os resultados de uma pesquisa realizada com o objetivo de avaliar, através de ensaios de laboratório, o aproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar (FBC) em compósito de matriz cimentícia (argamassa de cimento, areia e FBC), avaliando o comportamento mecânico e físico do material obtido.

Problemas de incompatibilidade química entre as fibras do bagaço e os componentes da matriz cimentícia foram solucionados através de tratamentos específicos da FBC, como lavagem, fervura, mineralização com calda de cimento e mineralização com produtos químicos, combinados entre si.

O processo de desmedulamento das fibras do bagaço da cana-de-açúcar, realizado em outras pesquisas com o mesmo material, não foi necessário, pois atualmente a FBC já vem desmedulada pelo processo de produção na indústria sucro-alcooleira. As fibras foram lavadas e mineralizadas com sais inorgânicos (solução de silicato de sódio a 5% e sulfato de alumínio em solução a 3%) e com nata de cimento (na concentração de 10:1 de água e cimento), com a finalidade de proteger a fibra contra as agressões do meio alcalino da argamassa; imobilizar a matéria orgânica e o açúcar residual para evitar a interferência do mesmo nas reações de pega do cimento e reduzir a capacidade de absorção de água pela FBC.

Diferentes traços de argamassa foram testados, visando encontrar aquele com melhor resistência à compressão. A variação ocorreu no teor de FBC acrescentado, podendo ser de 1,5 ou 3,0% da massa do cimento e no tipo de tratamento que estas fibras foram submetidas.

Foram definidos traços e corpos-de-prova moldados e compactados manualmente em fôrmas cilíndricas de 5 cm de Ø e 10 cm de altura, correspondentes a 5 combinações de tratamentos, duas idades, dois teores de fibra e três repetições, além de dois tipos de referência com variações no tipo de cura (câmara úmida e no tanque com água e cal). Posteriormente, os corpos-de-prova foram submetidos aos ensaios de compressão simples, tração na compressão diametral e absorção de água aos 7 e 28 dias.

Os tratamentos que apresentaram melhores desempenhos foram: FBC lavada + fervida; FBC lavada + fervida + nata de cimento e FBC lavada + fervida + produtos químicos.

Palavras chaves: fibra do bagaço de cana-de-açúcar, argamassa, resistência à compressão.

ABSTRACT

In this work survey results are reported, it aimed at assessing, through laboratory tests, the exploitation of bagasse-cane (FBC) in composite cementitious (cement mortar, sand and FBC) assessing the physical and mechanical behavior of the material.

Problems of chemical incompatibility between the bagasse fibers and cement matrix components have been removed by specific treatments on the CBF, such as washing, boiling, mineralization with chemicals and a mix of cement and water in different combinations.

The sugar cane fibers break down process, used in other studies conducted with the same material, was not necessary, because nowadays the CBF is already broken down in the production process in the ethanol and sugar industry. The fibers were washed and mineralized with inorganic salts (solution of sodium silicate at 5%; aluminum sulfate solution at 3%) and cream of cement (the concentration of 10:1 of water and cement), in order to protect the fiber against the aggressions of the alkaline mortar, trapping organic matter and the residual sugar to avoid interference in the reactions of cement cohesion, reduce the capacity of water absorption.

Different concrete mixtures were tested, in order to find one with better compressive strength. The change occurred in the content of CBF added, may be 1.5 or 3.0% by weight of cement and the type of treatment that these fibers were submitted.

Were defined traits and body-of-proof molded and compressed manually into cylindrical molds of 5 cm $\varnothing$ and 10 cm in height, corresponding to five combinations of treatments, two ages, two levels of fiber and three replicates, and two types of reference to variations in curing type (moist chamber and the tank with water and lime). Later, the bodies-of-evidence were submitted to tests of compressive traction in diametral compression and water absorption at 7 and 28 days.

The best treatments results were: washed CBF + boiled; washed CBF +boiled+ cream cement; and washed CBF + boiled + chemicals.

Key words: sugar cane bagasse fiber, mortar, compressive strength.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

CAPÍTULO 2

Figura 2.1	Moenda de cana-de-açúcar. Foto: Janaina F. Silva	31
Figura 2.2	Bagaço de cana-de-açúcar (SOUSA, 2009)	31
Figura 2.3	(a) Cinza do bagaço de cana-de-açúcar; (b) Preparo da cinza para compostagem. Foto: Janaina F. Silva	32
Figura 2.4	Monte de bagaço de cana-de-açúcar na Usina Jalles Machado (SOUSA,2009)	32
Figura 2.5	Monte de bagaço de cana-de-açúcar na Usina Centroálcool. Foto: Janaina F. Silva	33
Figura 2.6	Caldeira para queima do bagaço de cana-de-açúcar. Foto: Janaina F. Silva	34
Figura 2.7	Queima do bagaço na caldeira a 950° C	34
Figura 2.8	Sistema de co-geração de energia elétrica (gerador) (FERNANDES, 2007)	35
Figura 2.9	Sistema de co-geração de energia elétrica (sala de controle). Foto: Janaina F. Silva	35

CAPÍTULO 3

Figura 3.1	(a) 5º terno do sistema de moagem da cana-de-açúcar; (b) Moenda do 5º terno. Foto: Janaina F. Silva	47
Figura 3.2	Lavador de gases. Foto: Janaina F. Silva	48
Figura 3.3	Esquema da estrutura de fibra vegetal (sem escala) (SAVASTANO Jr., 1992)	50
Figura 3.4	Bagaço integral após processo de extração do caldo para produção industrial; (a) Monte de bagaço; (b) Zoom aproximado do bagaço. Foto: Janaina F. Silva	51

Figura 3.5	(a) Bagaço de cana-de-açúcar “in natura”;	
	(b) Bagaço de cana-de-açúcar após processo de lavagem e fervura.	
	Foto: Janaina F. Silva	56

CAPÍTULO 4

Figura 4.1	Equipamentos utilizados:	
	(a) Argamassadeira;	
	(b) Balança de precisão, Laboratório de Materiais de Construção – UCG;	
	(c) Balança de precisão, Laboratório de Química – UFG. Fotos: Janaina F. Silva	62
Figura 4.2	Sequência do processo de mineralização com produtos químicos;	
	(a) Pesagem dos componentes químicos;	
	(b) Solubilização;	
	(c) Impregnação das fibras pela solução química;	
	(d) Secagem das fibras ao ar livre;	
	(e) Aparência após mineralização efetuada. Fotos: Janaina F. Silva	67
Figura 4.3	Sequência de moldagem dos corpos-de-prova;	
	(a) Argamassadeira;	
	(b) Mistura dos componentes sólidos;	
	(c) Mistura da FBC;	
	(d) Consistência final da argamassa;	
	(e) Moldagem e compactação manual dos corpos-de-prova. Fotos: Janaina F. Silva	71
Figura 4.4	Sequência do ensaio à compressão simples:	
	(a) Prensa;	
	(b) Capeamento com enxofre;	
	(c) Ruptura do corpo-de-prova. Fotos: Janaina F. Silva	72

Figura 4.5	Sequência do ensaio de tração na compressão diametral:	
	(a) Preparo dos corpos-de-prova;	
	(b) Aplicação de carga;	
	(c) Ruptura do corpo-de-prova;	72
	(d) Corpo-de-prova rompido. Foto: Janaina F. Silva	
Figura 4.6	(a) Corpos-de-prova em cura em câmara úmida;	
	(b) Corpos-de-prova submersos em tanque d'água antes da pesagem. Foto: Janaina F. Silva	74

CAPÍTULO 5

Figura 5.1	(a) Descarregamento da cana-de-açúcar;	
	(b) Lavagem para remoção das impurezas. Fotos: Janaina F. Silva	78
Figura 5.2	Gráfico comparativo de absorção de água pelas fibras de bagaço de cana-de-açúcar de acordo com o tratamento	88

CAPÍTULO 6

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1.1	Produção Brasil 2008/09 a 2018/19 (AGE/MAPA, 2008)	25
Tabela 1.2	Exportação Brasil 2008/09 a 2018/19 (AGE/MAPA, 2008)	25
Tabela 1.3	Área Plantada Brasil 2008/09 a 2018/19 (AGE/MAPA, 2008)	25
Tabela 1.4	Consumo 2008/09 a 2018/19 (AGE/MAPA, 2008)	28

CAPÍTULO 2

Tabela 2.1	Cana-de-açúcar – Área plantada e distribuição; Safra 2008 (AGE/MAPA, 2008)	30
Tabela 2.2	Dados da co-geração de energia na Usina Jalles Machado (FERNANDES, 2007)	35

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1	Características típicas da fibra do bagaço de cana-de-açúcar (SARMIENTO, 1996)	50
------------	--	----

CAPÍTULO 4

CAPÍTULO 5

Tabela 5.1	Cana-de-açúcar – Estimativa de Produção e Destinação (Safra 2008) (CONAB, 2008)	76
Tabela 5.2	Cana-de-açúcar – Estimativa de Produção e Destinação para Indústria Sucroalcooleira (Safra 2009) (CONAB 2009)	77
Tabela 5.3	Composição Granulométrica da FBC	80
Tabela 5.4	Teor de açúcar residual (Laboratório de Análises da Usina Jalles Machado S/A)	81

Tabela 5.5	Teor de açúcar residual (Laboratório de Análises da Usina Centroálcool)	82
Tabela 5.6	Determinação do Diâmetro e Comprimento da FBC	84
Tabela 5.7	Absorção de água pela FBC, Laboratório Materiais de Construção – UCG	87
Tabela 5.8	Ensaio de Compressão simples, Laboratório Materiais de Construção – UCG	89
Tabela 5.9	Ensaio de Tração na Compressão Diametral, Laboratório de Materiais Construção – UCG	93
Tabela 5.10	Absorção de água nos Corpos-de-prova de Argamassa, Laboratório Materiais de Construção – UCG	97

CAPÍTULO 6

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
AGE	Assessoria de Gestão Estratégica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASTM	American Society for Testing and Materials
CMEC	Curso de Mestrado em Engenharia Civil
COGEN-SP	Associação Paulista de Co-geração de Energia
CGPE	Coordenação Geral de Planejamento Estratégico
COP 3	Terceira Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
cp	Corpo-de-prova
CP II – F	Cimento Portland Composto com Fíler
CP V ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
EA	Escola de Agronomia
ECO 92	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
FAEG	Federação da Agricultura e Pecuária em Goiás
FAPEG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás
GEE	Gases Causadores do Efeito Estufa
IFG	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
MDL	Mecanismos de Desenvolvimento Limpo
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MP	Material Particulado

EEC	Escola de Engenharia Civil
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NM	Norma Mercosul
RCE	Reduções Certificadas de Emissões
UCG	Universidade Católica de Goiás
UFG	Universidade Federal de Goiás

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
	1.1 CONTEXTO DA PESQUISA.....	20
	1.2 JUSTIFICATIVA.....	20
	1.3 OBJETIVOS.....	22
	1.4 HISTÓRICO	23
	1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	26
2	FIBRA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	28
	2.1 A CANA-DE-AÇÚCAR.....	28
	2.2 O BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	30
	2.2.1. A co-geração de energia.....	33
	2.2.2. Crédito de carbono.....	36
	2.3 CRÉDITO DE CARBONO E O SETOR SUCROALCOOLEIRO.....	37
	2.4 A FIBRA DO BAGAÇO DE CANA E SUA POTENCIALIDADE COMO REFORÇO PARA COMPÓSITOS	38
3	COMPÓSITOS.....	40
	3.1 DEFINIÇÃO E PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS.....	40
	3.1.1 Concreto reforçado com fibras	40
	3.1.2 Concreto reforçado com fibras naturais	42
	3.2 DEFINIÇÃO E PROPRIEDADES DA MATRIZ.....	44
	3.3 DEFINIÇÃO E PROPRIEDADES DA BIOMASSA VEGETAL.....	45
	3.4 FIBRA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR (FBC).....	46
	3.4.1 Processamento da FBC	46

3.4.2 Composição física da FBC	48
3.4.3 Composição morfológica da FBC	50
3.4.4 Densidade e umidade da FBC	52
3.5 COMPÓSITO BIOMASSA VEGETAL-CIMENTO	52
3.5.1 Incompatibilidade biomassa vegetal FBC-cimento	54
3.5.2 Tratamento da FBC para redução da incompatibilidade com o cimento	55
3.5.2.1 Lavagem	55
3.5.2.2 Fervura	55
3.5.2.3 Mineralização	56
3.5.2.3.1 Mineralização química	56
3.5.2.3.2 Mineralização em calda de cimento	57
4 PROGRAMA EXPERIMENTAL	58
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO	58
4.2 COLETA E SELEÇÃO DAS AMOSTRAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR (FBCs)	59
4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	59
4.3.1 Fibra do bagaço da cana-de-açúcar (FBC)	60
4.3.2 Aditivos químicos	60
4.3.3 Cimento e areia	60
4.3.4 Equipamentos de laboratório	61
4.4 MÉTODOS	62
4.4.1 Ensaios realizados no agregado miúdo – areia.....	62
4.4.2 Ensaios realizados no Cimento Portland II – F 32.....	63
4.4.2.1 Determinação da finura	63

4.4.2.2 Superfície específica.....	63
4.4.2.3 Massa específica.....	64
4.4.2.4 Tempo de início e fim de pega.....	64
4.4.2.5 Determinação da água de consistência.....	65
4.4.2.6 Determinação da resistência à compressão.....	65
4.4.3 Procedimentos preliminares aplicados à FBC	66
4.4.3.1 Determinação da composição granulométrica da FBC	66
4.4.4 Determinação do teor de açúcar residual da FBC	66
4.4.5 Tratamento químico da FBC	67
4.4.6 Determinação do diâmetro e comprimento da FBC	68
4.4.7 Determinação do teor de umidade da FBC	69
4.4.8 Determinação da massa específica aparente da FBC	69
4.4.9 Determinação da massa unitária da FBC	69
4.4.10 Ensaio de absorção de água aplicado à FBC	70
4.4.11 Escolha dos traços para confecção dos corpos-de-prova	70
4.4.12 Moldagem dos corpos-de-prova	70
4.4.13 Ensaio de compressão	72
4.4.14 Ensaio de tração na compressão diametral	72
4.4.15 Ensaio de absorção de água	73
4.4.16 Escolha do melhor tratamento	74
5 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	75
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO	75
5.1.1 Processo de produção nas usinas	78

5.2 PROCEDIMENTOS PRELIMINARES APLICADOS À FBC	80
5.3 TEOR DE AÇÚCAR RESIDUAL DA FBC	81
5.4 TRATAMENTO QUÍMICO DA FBC	83
5.5 DIÂMETRO E COMPRIMENTO DA FBC	83
5.6 TEOR DE UMIDADE DA FBC	85
5.7 MASSA ESPECÍFICA APARENTE DA FBC.....	86
5.8 MASSA UNITÁRIA DA FBC	86
5.9 ABSORÇÃO DE ÁGUA PELA FBC	87
5.10 ESCOLHA DO TRAÇO PARA CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA.	88
5.11 RESULTADOS DA MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA.....	88
5.12 ENSAIOS DE COMPRESSÃO.....	89
5.13 ENSAIOS DE TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	93
5.14 ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	96
6 CONCLUSÃO	100
6.1 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO E SELEÇÃO DAS AMOSTRAS DE FBCs	100
6.2 ENSAIOS APLICADOS ÀS AMOSTRAS DE FBCs	100
6.3 ENSAIOS APLICADOS AOS CORPOS-DE-PROVA	101
6.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	101
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	103
ANEXO – GRÁFICOS ENSAIOS NOS CORPOS-DE-PROVA	110

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
GPT/BC/UFG**

S586p Silva, Janaina Fernandes e.
Propriedades físicas e mecânicas de argamassa reforçada com
fibras do bagaço de cana-de-açúcar (FBC) [manuscrito] / Janaina
Fernandes e Silva. - 2010.
142 f. : il., figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Regis de Castro Ferreira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás,
Escola de Engenharia Civil, 2010.
Bibliografia.
Inclui lista de figuras, abreviaturas, siglas e tabelas.
Apêndices.

1. Fibra do bagaço de cana-de-açúcar 2. Argamassa 3.
Resistência à compressão. I. Título.

CDU:666.9



Termo de Ciência e de Autorização para Disponibilizar as Teses e Dissertações Eletrônicas (TEDE) na Biblioteca Digital da UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás–UFG a disponibilizar gratuitamente através da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações – BDTD/UFG, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ **Dissertação** ☐ **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor(a):	Janaina Fernandes e Silva		
CPF:	799.060.791-34	E-mail:	arqjana@gmail.com
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? ☒ Sim ☐ Não			
Vínculo Empregatício do autor			
Agência de fomento:	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	Sigla:	CAPES
País:	Brasil	UF:GO	CNPJ:
Título:	PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSA REFORÇADA COM FIBRAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR (FBC)		
Palavras-chave:	Fibra do bagaço de cana-de-açúcar, argamassa, resistência a compressão		
Título em outra língua:	PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MORTAR REINFORCED WITH SUGAR CANE FIBER (FBC)		
Palavras-chave em outra língua:	Sugar cane bagasse fiber, mortar, compressive strength		
Área de concentração:	Estruturas e Materiais de Construção		
Data defesa:	08/02/2010		
Programa de Pós-Graduação:	Curso de Mestrado em Engenharia Civil		
Orientador(a):	Regis de Castro Ferreira		
CPF:		E-mail:	rcastro@agro.ufg.br

3. Informações de acesso ao documento:

Liberação para disponibilização?¹ ☒ **total** ☐ **parcial**

Em caso de disponibilização parcial, assinale as permissões:

☐ Capítulos. Especifique: _____

☐ Outras restrições: _____

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Assinatura do(a) autor(a)

Data: ____ / ____ / ____

¹ Em caso de restrição, esta poderá ser mantida por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Todo resumo e metadados ficarão sempre disponibilizados.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO DA PESQUISA

Este trabalho é parte de um amplo projeto de pesquisa, conduzido pelo CMEC/UFG que tem como proposta pesquisar o uso de resíduos agroindustriais para fins de obtenção de materiais alternativos de construção, buscando soluções economicamente mais viáveis e com um ciclo produtivo mais sustentável. Assim, as fibras, nesta pesquisa, e as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, em pesquisa simultânea, ambos resíduos agroindustriais da produção do álcool combustível e açúcar, foram avaliadas como materiais para este fim.

1.2 JUSTIFICATIVA

O crescimento demográfico acelerado dos centros urbanos tem impulsionado, cada vez mais, grandes modificações climáticas e ambientais em todo mundo. Um dos causadores destas modificações é a construção civil que, diariamente, busca nivelar o déficit habitacional e suprir a crescente atividade econômica e industrial. Sendo assim, o setor vem investindo em pesquisas que apontem alternativas de produção e materiais com cadeias produtivas mais sustentáveis.

A reciclagem de resíduos é uma alternativa, seja no aproveitamento do próprio resíduo produzido na construção civil, ou no aproveitamento de resíduos de outras cadeias produtivas para geração de novos materiais de construção. As fibras naturais e artificiais, resíduos das indústrias siderúrgicas e agroindustriais, vêm sendo aplicadas com este fim, sua reciclagem na produção de novos e alternativos materiais destinados à construção civil.

As fibras naturais, como reforço de matrizes frágeis à base de materiais cimentícios, têm despertado grande interesse, por causa de seu baixo custo, disponibilidade, economia de energia e também no que se refere às questões ambientais. Os resíduos gerados pela agroindústria brasileira da fibra vegetal constituem importante fonte de matéria-prima para a produção de componentes construtivos. Esses recursos são abundantes e disponíveis, além de representarem estratégia para o reaproveitamento de resíduos. O emprego dos compósitos em placas, telhas de cobertura e componentes pré-fabricados, pode representar

significativa contribuição para o rápido crescimento da infra-estrutura dos países em desenvolvimento. O uso de fibrocimentos que utilizam polpa celulósica como reforço, tem sido consagrado, graças a constantes aperfeiçoamentos de matérias-primas, processos produtivos com consumo racionalizado de energia e custos de investimento cada vez menores Coutts¹ citado por Savastano e Santos (2010).

O bagaço é um resíduo sólido composto de lignina e celulose proveniente da extração do caldo da cana-de-açúcar. Algumas indústrias já utilizam o bagaço na co-geração de energia elétrica produzida à vapor, energia motriz a vapor e como ração animal.

O bagaço de cana-de-açúcar “*in natura*” é composto por 45% de fibras lignocelulósicas, 50% de umidade, 2 a 3% de sólidos insolúveis e 2 a 3% de sólidos solúveis em água. Quimicamente constitui-se de celulose, hemicelulose e lignina, com 41%, 25% e 20%, respectivamente, com base na massa seca de bagaço. Sua queima possibilita a substituição do óleo combustível e outros produtos energéticos. Porém, a pirólise do bagaço gera uma espécie de cinza, composta em sua maior parte de materiais inorgânicos. A incorporação dessa cinza em matriz cimentícia é uma das possíveis soluções para viabilizar a utilização desse material (ZARDO et al., 2004), além da compostagem, destinação utilizada nas indústrias que geram este subproduto.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2008), a estimativa da produção nacional de cana-de-açúcar 2007/2008 destinada à indústria sucroalcooleira foi de 475,07 milhões de toneladas. Quando comparada à safra 2006/07, verifica-se um crescimento de 10,62 % (45,60 milhões de toneladas). Uma vez que cerca de 26 % da massa de cana-de-açúcar permanecem na forma de bagaço residual depois de processos de moagem, o Brasil apresenta uma produção potencial de FBC que gira em torno de 124 milhões de toneladas.

De acordo com MAPA (2009) as projeções para o agronegócio de 2008/2009 até 2018/2019 mostram que o Brasil deve melhorar sua posição no comércio mundial, em virtude da relação entre quantidade de exportação e comércio mundial. Para o açúcar, essa relação passará de 58,4 % na safra 2008/2009 para 74,3 % na safra 2018/2019. A área plantada de cana-de-açúcar deve crescer 6,0 milhões de hectares.

Mesmo já existindo alternativas para o aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar, sua geração na cadeia produtiva do álcool combustível e do açúcar ainda é grande e

¹ COUTTS, R.S.P. A review of Australian research into natural fibre cement composites. **Cement and Concrete Composites**, v.27, p.518-526, 2005.

crescente, atualmente cerca de 95% deste resíduo é aproveitado (ANJOS; MARTINELLI, 2008). Assim, estudos vêm sendo desenvolvidos para otimizar ainda mais sua reciclagem.

O constante crescimento demográfico das zonas urbanas tem gerado ao longo dos anos um grande aumento de áreas impermeáveis no solo urbano, acarretando graves problemas para as cidades; um destes problemas é a grande quantidade de alagamentos e enchentes durante os períodos chuvosos, que se tornam cada vez mais graves com o aumento na intensidade das chuvas devido ao aquecimento global.

A utilização de blocos de concreto intertravado é uma alternativa de material utilizado na pavimentação de ruas e calçadas que pode amenizar a falta de permeabilidade do solo, se utilizado em grande escala, uma vez que são assentados sobre uma camada de areia ou pó de brita, e não são rejuntados, permitindo que a água penetre por entre as juntas secas dos blocos; além do que, “ensaios de molhamento e secagem, aplicados em vigas envelhecidas evidenciaram a alta capacidade de absorção de água dos compósitos confeccionados com materiais lignocelulósicos” (MESA-VALENCIANO, 2004).

Para se incentivar o uso deste material de pavimentação há uma necessidade de torná-lo economicamente mais atrativo. Neste contexto, a presente pesquisa mostra sua relevância ao estudar a viabilidade técnica dos blocos produzidos com a FBC adicionada à matriz cimentícia, para posteriormente ser avaliado seu custo benefício. A proposta se estende, também, a solucionar dois problemas de ordem ambiental, a necessidade de aumentar a área de permeabilidade do solo urbano e propor novas alternativas para destinação ao subproduto da indústria sucroalcooleira, o bagaço da cana-de-açúcar.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa foi o estudo do emprego e da viabilidade técnica das fibras de bagaço de cana-de-açúcar (FBC) na obtenção de compósitos cimentícios. Para que o objetivo principal fosse alcançado, outros objetivos específicos foram traçados.

1º Objetivo – Caracterização do setor sucroalcooleiro e seleção das amostras de FBC

Essa etapa teve como principal objetivo a obtenção de dados sobre a indústria sucroalcooleira no Estado de Goiás e a seleção de duas usinas, em função de seus processos

de produção, para coleta de amostras. Essas amostras de FBC foram coletadas, lavadas e tratadas para dar continuidade à pesquisa.

2º Objetivo – Caracterização da FBC para sua utilização como reforço em compósitos de argamassa de cimento

O objetivo dessa etapa foi a caracterização das amostras de FBC “*in natura*” e tratadas, para avaliação de suas propriedades físicas e químicas, visando seu uso como reforço em matrizes cimentícias.

3º Objetivo – Utilização das diferentes amostras de FBC em corpos-de-prova de argamassa de cimento e areia

O objetivo dessa etapa foi caracterizar as alterações nas propriedades físicas, e mecânicas dos compósitos formados pela adição das amostras de FBC.

1.4 HISTÓRICO

A agroindústria de cana-de-açúcar no Brasil tem como objetivo a produção de açúcar e álcool combustível para os mercados interno e externo. A implementação do projeto PROALCOOL no Brasil, ainda em meados de 1970, impulsionou a indústria sucroalcooleira naqueles tempos. Hoje a produção de álcool combustível vem sendo impulsionada, aqui e em outros países, pelo próprio mercado, que enfrentou a crise do petróleo, e busca combustíveis alternativos do ponto de vista de renovação, preço e que sejam também menos poluentes que os combustíveis fósseis.

A cultura da cana-de-açúcar foi introduzida no país, ainda no período Colonial (1532 por Martim Afonso de Sousa), sem a devida preocupação com o aproveitamento dos seus subprodutos e resíduos gerados no processo produtivo. Porém, as indústrias do setor perceberam a necessidade de melhorar a destinação destes subprodutos e vêm desenvolvendo, ao longo dos tempos, técnicas agrícolas e industriais que viabilizem este aproveitamento. Os principais subprodutos das usinas de açúcar e álcool são vinhaça, torta de filtro, bagaço e cinza do bagaço.

A cana-de-açúcar foi inserida no Brasil para consolidar a colonização portuguesa e garantir grandes lucros à metrópole, tornou-se um dos produtos mais importantes do agronegócio brasileiro. O auge da sua produção e importância foi durante o chamado ciclo da cana (séculos XVI e XVII). Atualmente a cultura mantém uma forte participação na economia nacional, sendo o Brasil o maior produtor mundial de cana, com uma área plantada de 5,4 milhões de hectares e uma safra anual de cerca de 354 milhões de toneladas, ocupando o mesmo lugar na produção de álcool e açúcar (MAPA, 2009).

“Ao projetar o futuro do agronegócio brasileiro para os próximos anos” o MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (Assessoria de Gestão estratégica – AGE; Coordenação Geral de Planejamento estratégico – CGPE) realizaram projeções do Agronegócio no Brasil para o período 2008/09 a 2018/19, tendo “como objetivo indicar possíveis direções do desenvolvimento e fornecer subsídios aos formuladores de políticas públicas quanto às principais tendências dos principais produtos do agronegócio”.

“O agronegócio brasileiro tem grande potencial de crescimento. O mercado interno é expressivo para todos os produtos analisados, e o mercado internacional tem apresentado acentuado crescimento do consumo. Países superpopulosos terão dificuldades de atender às demandas devido ao esgotamento de suas áreas agricultáveis. As dificuldades de reposição de estoques mundiais; o acentuado aumento do consumo especialmente de grãos como milho, soja e trigo; o processo de urbanização em curso no mundo, criam condições favoráveis aos países como o Brasil, que têm imenso potencial de produção e tecnologia disponível. A disponibilidade de recursos naturais no Brasil é fator de competitividade”.

“Os produtos mais dinâmicos do agronegócio brasileiro deverão ser a soja, milho, trigo, carnes, **etanol**, farelo de soja, óleo de soja e leite. Esses produtos indicam elevado potencial de crescimento para os próximos anos” (2009, AGE - Assessoria de Gestão Estratégica – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento).

As projeções apontam para um elevado crescimento para dois produtos, dentre os demais, açúcar, mais 14,5 milhões de toneladas e etanol, 37,0 bilhões de litros, veja Tabelas 1.1, 1.2, 1.3 e 1.4, (2009, AGE - Assessoria de Gestão Estratégica – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento).

Tabela 1.1 – Produção Brasil 2008/09 a 2018/19 (AGE/MAPA, 2008)

Produto	Unidade	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19
Milho	mil toneladas	58.586	57.826	60.033	61.321	62.870	64.323	65.827	67.304	68.793	70.278	71.763	73.249
Soja	mil toneladas	60.072	63.842	64.024	67.115	67.612	70.514	71.054	73.984	74.504	77.450	77.966	80.914
Trigo	mil toneladas	5.414	5.482	5.722	5.963	6.203	6.443	6.684	6.924	7.165	7.405	7.645	7.886
Laranja	mil toneladas	18.605	18.758	18.932	19.105	19.279	19.452	19.625	19.799	19.972	20.145	20.319	20.492
Carne Frango	Mil ton Equiv. carcaça	11.130	11.517	12.110	12.703	13.295	13.888	14.480	15.073	15.665	16.258	16.851	17.443
Carne Bovina	Mil ton Equiv. carcaça	10.382	10.989	11.442	11.894	12.346	12.799	13.251	13.703	14.155	14.608	15.060	15.512
Carne Suína	Mil ton Equiv. carcaça	3.107	3.213	3.317	3.421	3.525	3.629	3.733	3.837	3.941	4.045	4.148	4.252
Açúcar	mil toneladas	32.783	34.433	35.606	36.936	38.236	39.533	40.837	42.135	43.437	44.737	46.038	47.339
Etanol	bilhões de litros	22	25	28	32	35	38	42	45	49	52	55	59
Algodão	mil toneladas	1.564	1.202	1.517	1.721	1.370	1.503	1.809	1.545	1.517	1.850	1.713	1.569
Farelo de Soja	mil toneladas	24.948	25.560	26.348	27.136	27.924	28.712	29.500	30.288	31.076	31.864	32.652	33.439
Óleo de Soja	mil toneladas	6.156	6.334	6.541	6.748	6.955	7.162	7.370	7.577	7.784	7.991	8.198	8.405
Leite	milhões de litros	27.399	28.104	28.982	29.859	30.737	31.614	32.492	33.369	34.247	35.124	36.002	36.879
Feijão	mil toneladas	3.545	3.554	3.630	3.707	3.783	3.860	3.936	4.012	4.089	4.165	4.242	4.318
Arroz	mil toneladas	12.112	12.260	12.381	12.502	12.622	12.743	12.864	12.985	13.106	13.227	13.348	13.468
Batata Inglesa	mil toneladas	3.615	3.512	3.588	3.646	3.704	3.762	3.821	3.879	3.937	3.995	4.053	4.111
Mandioca	mil toneladas	26.050	27.177	27.682	28.188	28.693	29.198	29.704	30.209	30.714	31.220	31.725	32.230

Tabela 1.2 – Exportação Brasil 2008/09 a 2018/19 (AGE/MAPA, 2008)

Produto	Unidade	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19
Milho	Mil toneladas	11.554	11.152	12.327	13.305	14.679	15.854	17.030	18.205	19.381	20.556	21.732	22.907
Soja	Mil toneladas	25.750	27.071	27.622	28.782	29.680	30.631	31.620	32.574	33.550	34.520	35.490	36.461
Suco de Laranja	Mil toneladas	2.136	2.183	2.253	2.309	2.373	2.432	2.493	2.554	2.615	2.675	2.736	2.797
Carne de Frango	Mil ton Equiv. carcaça	3.615	3.805	4.085	4.364	4.644	4.924	5.203	5.483	5.763	6.043	6.322	6.602
Carne Bovina	Mil ton Equiv. carcaça	2.400	2.627	2.827	3.027	3.227	3.427	3.627	3.827	4.027	4.227	4.427	4.627
Carne Suína	Mil ton Equiv. carcaça	625	688	730	773	816	858	901	943	986	1.028	1.071	1.114
Açúcar	mil toneladas	21.000	21.827	22.949	24.035	25.096	26.183	27.253	28.332	29.408	30.484	31.561	32.637
Etanol	bilhões de litros	3,5	4,2	4,2	4,1	3,9	4,9	6,1	6,6	7,1	7,7	8,3	8,9
Algodão	mil toneladas	520	503	535	546	566	582	600	617	635	652	669	687
Farelo de Soja	mil toneladas	13.200	13.440	13.599	13.758	13.917	14.076	14.235	14.395	14.554	14.713	14.872	15.031
Óleo de Soja	mil toneladas	2.120	2.430	2.484	2.539	2.593	2.647	2.701	2.755	2.810	2.864	2.918	2.972
Leite	milhões de litros	1.052	1.076	1.177	1.278	1.379	1.481	1.582	1.683	1.784	1.885	1.986	2.087

Tabela 1.3 – Área Plantada Brasil 2008/09 a 2018/19 (AGE/MAPA, 2008)

Produto	Unidade	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19
Milho	mil hectares	14.709	14.320	14.533	14.747	14.961	15.174	15.388	15.601	15.815	16.028	16.242	16.456
Soja	mil hectares	21.317	21.835	22.315	22.784	23.249	23.713	24.177	24.640	25.104	25.567	26.031	26.494
Trigo		2.383	2.378	2.426	2.474	2.522	2.570	2.619	2.667	2.715	2.763	2.812	2.860
Café	mil hectares	2.073	2.101	2.084	2.067	2.051	2.034	2.018	2.001	1.985	1.968	1.952	1.935
Laranja	mil hectares	822	821	824	828	831	835	838	842	845	849	852	856
Cana de Açúcar	mil hectares	7.052	7.908	9.284	9.686	10.100	10.524	10.958	11.465	12.015	12.327	12.664	13.026
Algodão	mil hectares	1.084	1.071	1.087	1.102	1.117	1.133	1.148	1.164	1.179	1.194	1.210	1.225
Arroz	mil hectares	2.878	3.023	3.186	3.336	3.471	3.589	3.693	3.783	3.863	3.932	3.993	4.046
Feijão	mil hectares	3.972	3.898	4.033	4.160	4.270	4.364	4.443	4.510	4.568	4.617	4.658	4.693
Batata Inglesa	mil hectares	144	137	138	136	135	134	133	131	130	129	127	126
Mandioca	mil hectares	1.809	1.888	1.907	1.926	1.946	1.965	1.984	2.003	2.022	2.042	2.061	2.080

Tabela 1.4 – Consumo 2008/09 a 2018/19 (AGE/MAPA, 2008)

Produto	Unidade	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19
Milho	mil toneladas	44.000	43.102	44.040	44.979	45.918	46.856	47.795	48.734	49.672	50.611	51.550	52.488
Soja	mil toneladas	35.050	35.851	37.040	37.758	38.619	39.452	40.265	41.099	41.924	42.751	43.579	44.406
Trigo	mil toneladas	10.250	10.752	10.902	11.052	11.202	11.352	11.502	11.652	11.802	11.952	12.102	12.251
Café	mil toneladas	18	19	19	20	21	21	22	22	23	23	24	24
Carne de Frango	mil toneladas eqv. carcaça	7.514	7.713	8.025	8.338	8.651	8.964	9.277	9.590	9.903	10.215	10.528	10.841
Carne Bovina	mil toneladas eqv. carcaça	8.013	8.208	8.409	8.611	8.812	9.014	9.216	9.418	9.620	9.822	10.024	10.226
Carne Suína	mil toneladas eqv. carcaça	2.482	2.526	2.587	2.648	2.709	2.770	2.832	2.893	2.954	3.015	3.076	3.137
Açúcar	mil toneladas	11.433	11.646	11.889	12.113	12.350	12.580	12.814	13.046	13.278	13.511	13.743	13.976
Etanol	bilhões litros	18	21	24	28	31	34	36	39	42	44	47	50
Algodão	mil toneladas	1.050	1.061	1.086	1.112	1.137	1.163	1.189	1.214	1.240	1.265	1.291	1.316
Farelo de Soja	mil toneladas	11.800	12.083	12.697	13.311	13.925	14.539	15.154	15.768	16.382	16.996	17.610	18.224
Óleo de Soja	mil toneladas	4.100	3.932	4.077	4.222	4.367	4.512	4.657	4.802	4.947	5.092	5.237	5.382
Leite	Milhões litros/hab.	26.583	27.087	27.756	28.426	29.095	29.764	30.433	31.102	31.771	32.440	33.109	33.778
Feijão	mil toneladas	3.400	3.288	3.343	3.380	3.431	3.461	3.504	3.547	3.591	3.632	3.674	3.716
Arroz	mil toneladas	13.000	13.208	13.336	13.465	13.594	13.723	13.852	13.980	14.109	14.238	14.367	14.495

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No Capítulo 1 é discutida a importância do tema e apresentamos a estrutura, o objetivo da dissertação e um histórico sobre a produção de cana-de-açúcar, álcool e açúcar.

No Capítulo 2 apresenta-se uma descrição da indústria sucroalcooleira e sua importância histórica e econômica para o Brasil. Neste capítulo é apresentada, também, uma caracterização da cana-de-açúcar, de sua produção e do seu bagaço; da co-geração de energia elétrica, que tem o bagaço como matéria prima para tal e do comércio dos créditos de carbono. Além de apresentar a potencialidade do uso do bagaço como reforço em matrizes cimentícias.

No Capítulo 3, tem-se a definição e as propriedades dos compósitos e apresentação das características de concretos reforçados com fibras e fibras naturais; a definição e apresentação das propriedades da matriz de cimento e da biomassa vegetal; apresentação da fibra do bagaço, do seu processamento e composições física, química, morfológica e características de densidade e umidade. O capítulo 3 também apresenta o compósito de biomassa vegetal – cimento, referindo-se às incompatibilidades e propriedades de seus componentes; os possíveis tratamentos para redução dessa incompatibilidade.

O Capítulo 4 descreve o programa experimental utilizado na dissertação, iniciando com a caracterização do setor sucroalcooleiro no Estado de Goiás e a seleção das amostras de FBCs, a serem estudadas juntamente com os demais materiais e métodos de ensaios utilizados no preparo dos corpos-de-prova deste trabalho.

No Capítulo 5 são apresentados os respectivos resultados das fases da dissertação, bem como suas análises, enquanto no Capítulo 6 apresentam-se as conclusões e as sugestões para futuras pesquisas sobre o tema.

CAPÍTULO 2

FIBRA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

2.1 A CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar é uma cultura perfeitamente adaptada às condições do clima tropical, portanto é cultivada em países da África, Ásia e América Central e do Sul, mas sua origem é do sudeste da Ásia.

Como já mencionado no capítulo 1, sua cultura ocupa lugar de destaque no agronegócio brasileiro, sendo um de seus principais produtos.

O seu cultivo é destinado para produção do açúcar, do álcool e da aguardente. Durante este processo produtivo, a cana-de-açúcar também gera resíduos, como o bagaço, a vinhaça, torta de filtros (resíduo da filtragem do caldo de cana) e a cinza do bagaço (produzida pela queima do bagaço na co-geração de energia elétrica e mecânica).

Segundo a Relação das Unidades Produtoras Cadastradas no Departamento da Cana-de-açúcar e Agroenergia POSIÇÃO 17/04/2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Secretaria de Produção e Agroenergia – Departamento da Cana-de-açúcar e Agroenergia), estão instaladas e em pleno funcionamento no Brasil 422 usinas produtoras de álcool e açúcar, sendo que dessas, 249 são unidades mistas, ou seja, produzem álcool e açúcar concomitantemente; 15 produzem apenas açúcar e; 158 são produtoras exclusivas de álcool. Deste total, 30 usinas estão instaladas no estado de Goiás, sendo 11 unidades de produção mista e 19 unidades produtoras de álcool.

A Companhia Nacional de Abastecimento – Conab, no âmbito de um programa de cooperação com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, realizou na última quinzena de novembro e primeira quinzena de dezembro de 2008 e de 30 de março a 09 de abril de 2009, levantamentos das informações para fechamento da safra de cana-de-açúcar e da previsão de produção de açúcar e álcool para as temporadas 2008/09 e 2009/10. Os resultados do levantamento para 2008/09 estimaram um crescimento de 13,9% em relação à safra passada, para região centro-sul, o que correspondem ao montante de 571,4 milhões de toneladas de matéria-prima que será processada pelo setor sucroalcooleiro. Ainda a respeito do mesmo levantamento, os resultados alcançados foram em decorrência de dois fatores:

“ 1) clima muito chuvoso, especialmente no período inicial da moagem, que atrasou o ritmo de processamento da colheita resultando em um menor rendimento médio em sacarose (ATR) da safra;

2) atraso no cronograma de funcionamento de muitas unidades de produção e, em especial, algumas unidades novas, que não tiveram tempo hábil para processar toda a cana madura disponível.”

O levantamento para 2008/09 da Conab apresenta, ainda, que “a consequência imediata da ação desses fatores adversos está no volume recorde de cana madura que não será cortada nesta temporada, cujo total estimado se aproxima de 27,7 milhões de toneladas e corresponde a 5,5% da safra regional, e remanescerá no campo para ser colhida na próxima temporada. Esta situação foi reportada por todos os principais estados produtores da região (São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Goiás e Mato Grosso do Sul)”, veja resultados parciais e totais na Tabela 2.1.

A grande quantidade de cana remanescente na lavoura coloca

“uma forte dúvida sobre o comportamento da produtividade física da cana a ser colhida e do número de paradas técnicas que a indústria terá que fazer em seu funcionamento diário. A falta de tratos adequados da cana, no período correto, além de afetar seu crescimento vegetativo pode comprometer a resistência da planta e favorecer o aparecimento de doenças oportunistas e, também, tornar os canaviais mais sensíveis a eventuais condições adversas do clima.” (...) o “grande volume de cana madura não colhida (...) tem um efeito inverso na mensuração do volume da safra que será processada. Esta cana alongou seu período de desenvolvimento vegetativo por vários meses e teve um expressivo ganho de peso e esta ocorrência coloca mais dúvidas sobre a quantidade final da cana que será processada na safra. Além disso, esta cana deve apresentar uma forte redução no volume concentrado de sacarose e produzir um menor volume de açúcar ou álcool por unidade de área” (CONAB - 1º Levantamento: Abril de 2009).

Os resultados dos levantamentos, realizados pela Conab, visam ser “importante instrumento de gestão das políticas públicas do governo federal, particularmente no que se refere ao álcool etílico combustível (etanol), cujo crescimento do consumo doméstico e das exportações exige constante acompanhamento para facilitar o funcionamento regular dos mercados e prevenir a eventualidade de crises de oferta ou demanda.” Prova disso é a atual crise mundial, “as dificuldades financeiras que afetaram de forma intensa a maior parte dos grupos econômicos ocasionaram um conjunto de medidas que devem interferir no andamento da safra. Os problemas de fluxo de caixa fizeram com que boa parte das unidades de produção

redefinisse suas prioridades e concentrassem os cortes de gastos onde os efeitos advindos fossem os menos severos para a atividade”.

Tabela 2.1 – Cana-de-açúcar – Área plantada e distribuição; Safra 2008 (AGE/MAPA, 2008)

REGIÃO / UF	Área do Setor Sucroalcooleiro (ha)					
	Em Produção	Em formação		Semente / muda	Bisada(1)	Total
		Renovação	Expansão			
NORTE	20.601	674	1.397	351	-	23.023
AM	3.901	624	-	122	-	4.647
PA	11.000	-	-	-	-	11.000
TO	5.700	50	1.397	229	-	7.376
NORDESTE	1.037.270	91.748	30.442	25.163	-	1.184.622
MA	38.900	1.293	1.607	742	-	42.542
PI	13.110	1.470	530	320	-	15.430
CE	1.618	240	-	58	-	1.916
RN	55.499	7.380	3.780	2.550	-	69.209
PB	112.501	7.750	998	1.783	-	123.031
PE	316.579	29.323	3.530	7.059	-	356.491
AL	426.815	35.724	6.430	8.745	-	477.714
SE	34.884	3.412	8.499	2.641	-	49.436
BA	37.363	5.156	5.068	1.265	-	48.852
CENTRO-OESTE	900.810	69.540	107.693	29.175	51.942	1.159.161
MT	223.200	30.764	7.144	6.822	-	267.930
MS	275.810	18.585	51.830	11.533	22.186	379.944
GO	401.800	20.191	48.719	10.820	29.756	511.286
SUDESTE	4.540.138	330.406	276.213	94.670	164.047	5.405.474
MG	600.697	37.114	75.591	14.248	19.855	747.504
ES	65.200	4.768	2.376	1.295	-	73.639
RJ	50.000	5.016	4.238	1.604	1.421	62.279
SP	3.824.241	283.508	194.008	77.523	142.771	4.522.051
SUL	511.384	54.988	36.551	16.150	99.878	718.950
PR	509.289	54.798	36.351	16.150	99.878	716.465
RS	2.095	190	200	-	-	2.485
NORTE/NORDESTE	1.057.870	92.422	31.839	25.514	-	1.207.645
CENTRO-SUL	5.952.332	454.933	420.457	139.995	315.867	7.283.584
BRASIL	7.010.202	547.355	452.295	165.509	315.867	8.491.229

No caso da região Centro-Sul, que inclui os Estados das regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul, os resultados indicam uma expansão da produção de cana da ordem de 15,34%, passando de 435,39 milhões de toneladas para 502,15 milhões de toneladas (CONAB, 2008).

2.2 O BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

O bagaço de cana é um subproduto ou resíduo gerado na produção de álcool e/ou de açúcar. Após a moagem da cana para extração da garapa ou caldo de cana, da qual são produzidos o açúcar, o álcool e outros produtos, sobra um resíduo denominado bagaço de cana-de-açúcar, Figura 2.1. Atualmente este bagaço é queimado em caldeiras para geração de energia mecânica e elétrica, em parte para a própria usina e, em alguns casos, parte da energia elétrica é para ser usada ou vendida para cidades próximas. Como o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, os resíduos derivados deste produto estão na mesma proporção

percentual da produção. Portanto, a utilização dos componentes dessa biomassa vegetal é de grande importância econômica e ambiental (SILVA, 2006).

No processo já existente, há uma desqualificação da estrutura da fibra, obtendo-se fibras pequenas, curtas e com baixas propriedades físicas e mecânicas, Figura 2.2. Essas fibras, depois de trituradas em moendas, têm um baixo valor de reutilização, sem que haja transformação em um produto satisfatório, pois, atualmente, o resíduo vem sendo usado na usina para queima e geração de energia (SILVA, 2006).



Figura 2.1 – Moenda de cana-de-açúcar. Foto: Janaina F. Silva



Figura 2.2 – Bagaço de cana-de-açúcar (SOUSA, 2009)

Os principais subprodutos das usinas de açúcar e álcool é o vinhoto, que é o caldo que sobra após a destilação fracionada para produção de etanol, já na produção de açúcar após a fermentação é realizada a filtragem do líquido que ainda contém sacarose que é o material sólido que fica retido nos filtros, chamado de torta de filtro e o bagaço. A otimização dos

processos para viabilizar a melhor utilização desses subprodutos e o desenvolvimento de outros processos que aumentem o seu valor tem sido objeto de atenção de indústrias do setor.



Figura 2.3 – (a) Cinza do bagaço de cana-de-açúcar; (b) Preparo da cinza para compostagem. Foto: Janaina Silva

Segundo Cordeiro (2006), para cada tonelada de cana-de-açúcar, são gerados cerca de 260 kg de bagaço com 50% de umidade. O bagaço pode ser armazenado em forma de pilhas ou compactadas em “bricks”, portanto, a maneira de armazenamento averiguada nas usinas visitadas durante a pesquisa são as pilhas, as Figuras 2.4 e 2.5 mostram os montes de bagaço na Usina Jalles Machado, localizada no município de Goianésia, na Usina Centroálcool, localizada em Inhumas, ambas no Estado de Goiás.



Figura 2.4 – Monte de bagaço de cana-de-açúcar na Usina Jalles Machado (SOUSA, 2009)



Figura 2.5 – Monte de bagaço de cana-de-açúcar na Usina Centroálcool. Foto: Janaina F.Silva

2.2.1. A co-geração de energia

O setor sucroalcooleiro apresenta vários subprodutos, entre eles o bagaço da cana-de-açúcar. Apesar de considerado o maior dejetos da agroindústria nacional, seu aproveitamento industrial vai desde a produção de composto para ração animal, fertilizante, biogás, à matéria-prima para compensados e para indústria química em geral. No entanto, desde o início do século passado, o bagaço era utilizado como combustível substituto à lenha. Anos depois, no início do século XXI, seu principal aproveitamento ocorre no processo de produção de energia (térmica e mecânica), conhecido como co-geração (SOUZA; AZEVEDO, 2006).

Segundo Coelho (1999), co-geração é a geração simultânea de energia térmica e mecânica, a partir de um mesmo combustível (gás natural, resíduos de madeira, casca de arroz, bagaço da cana, palha, ponteiros). A energia mecânica pode ser utilizada na forma de trabalho ou transformada em eletricidade por meio de geradores, a energia térmica é utilizada como fonte de calor para um processo industrial ou no setor de comércio ou serviços. Nas Figuras 2.6 e 2.7 observa-se a queima do bagaço de cana-de-açúcar em uma caldeira de uma Usina que produz açúcar e álcool.



Figura 2.6 – Caldeira para queima do bagaço de cana-de-açúcar. Foto: Janaina F. Silva



Figura 2.7 – Queima do bagaço na caldeira à 950°C (SOUSA, 2009)

As vantagens econômicas e ambientais da co-geração vão além, especialmente quando comparadas às tradicionais hidrelétricas. Na co-geração de energia a partir do bagaço da cana, os custos de implantação são em média 50% mais baratos do que de uma central hidrelétrica. Outra vantagem adicional é o prazo de construção de 15 a 18 meses, diante dos quatro anos para a montagem de uma hidrelétrica. Evitam-se inundações de terras férteis e a necessidade de desapropriações. Solução para os rejeitos da cana, a co-geração reduz também os investimentos em linhas de transmissão, uma vez que o custo de uma linha de transmissão é elevado pelo peso dos cabos utilizados, compostos de alumínio, aço e ligas. (FERNANDES, 2007).

Segundo ANEEL (2008), a Usina Jalles Machado S/A, localizado na cidade de Goianésia/Goiás, possui uma capacidade de geração de energia que representa 0,0495% da capacidade do país, com produção independente de energia. Cerca de 450 a 500 kg de vapor são gerados a partir de uma tonelada de cana-de-açúcar. Em média, cada tonelada de cana

processada requer cerca de 12 kWh de energia elétrica, o que pode ser fornecido pela própria queima do bagaço (CORDEIRO, 2006).

A Tabela 2.2 fornece os dados de produção e consumo por hora de energia gerada a partir do bagaço de cana-de-açúcar. As Figuras 2.8 e 2.9 mostram um sistema de co-geração de energia elétrica, a partir do bagaço de cana.

Tabela 2.2 – Dados da co-geração de energia na Usina Jalles Machado S/A (FERNANDES, 2007)

Produção/Consumo (por hora)	
Potência instalada	38MW
Produção total	20MW
Exportação	10MW
Consumo indústria	7MW
Consumo agrícola	1,4MW
Consumo na administração	0,1 MW



Figura 2.8 – Sistema de co-geração de energia elétrica (gerador) (FERNANDES, 2007)



Figura 2.9 – Sistema de co-geração de energia elétrica (sala de controle). Foto: Janaina Silva

O bagaço de cana, após a extração do caldo, é destinado às caldeiras onde é utilizado como combustível, para produção de vapor d'água em alta pressão. Os gases resultantes da combustão são tratados no sistema de lavagem. O vapor movimenta turbinas para moagem de cana e geração de energia elétrica. O bagaço de cana é uma fonte de energia limpa e renovável que representa uma alternativa importante para redução das emissões de gases poluentes, utilização de combustíveis fósseis, recursos hídricos e outros (SOUSA, 2009).

A médio e longo prazo, a exaustão de fontes não-renováveis e as pressões ambientalistas poderão acarretar maior aproveitamento energético da biomassa. Atualmente, a biomassa vem sendo cada vez mais utilizada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de co-geração e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica (MAPA, 2009).

Os projetos de geração de eletricidade a partir da queima do bagaço de cana-de-açúcar representam um diferencial para o desenvolvimento sustentável no País. Segundo avaliação do Instituto Brasil Acende, os canaviais brasileiros existentes poderiam gerar energia equivalente a cerca de 14.000 MW. É uma capacidade semelhante à da usina hidrelétrica de Itaipu à disposição dos agentes privados, esperando para ser desenvolvida (SOUSA, 2009).

A co-geração seguramente vai crescer exponencialmente e se consolidar como fonte importante de energia. Atualmente, a participação da bioeletricidade na matriz energética brasileira é de 3%, o que equivale a aproximadamente 1.400 MW médios. Em 2020, serão gerados 14.400 MW. Segundo dados da Associação Paulista de Co-geração de Energia (COGEN-SP), o setor sucroalcooleiro deverá investir R\$ 45 bilhões, até 2015, em projetos de co-geração (TAVARES, 2009).

2.2.2. Crédito de carbono

Num momento em que o mundo todo se preocupa com a elevação da temperatura global, foi decidido, em 1997, em Kyoto, Japão, que os países reduzam suas emissões de gases de efeito estufa, a níveis inferiores aos de 1990. As formas de redução das emissões efetuadas por estes países podem ser realizadas através do desenvolvimento de tecnologias menos poluentes em suas fábricas ou através da aquisição de créditos de carbono de empresas ou países que utilizem tecnologias poluentes (FERNANDES, 2007).

O Protocolo de Kyoto foi assinado por representantes de mais de 160 países industrializados que se comprometeram a reduzir suas emissões de GEE (gases causadores do efeito estufa) em 5% em relação aos níveis de 1990, durante o período de 2008 e 2012 (CARBONO BRASIL, 2008).

Para tanto, foram criados mecanismos de flexibilização através dos quais os países ricos podem promover a redução fora de seu território. Esta alternativa ficou conhecida como Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), sendo a negociação de créditos de carbono sua forma transacional (SOUSA, 2009).

A negociação de créditos de carbono já beneficia uma série de empresas no Brasil. São empresas de diversos setores, como siderurgia, papel e celulose, saneamento e recursos renováveis, entre outras. Estas empresas estão acessando um mercado que, segundo alguns especialistas, deve movimentar US\$10 bilhões em crédito de carbono ao ano, e o Brasil deve ser responsável por 10% desta quantia. O crédito de carbono consiste em certificar reduções de emissões de gases de efeito estufa (GEE), que através de um custo marginal de redução no Brasil possam compensar um possível custo de oportunidade nos países desenvolvidos (CARBONO BRASIL, 2008).

Algumas usinas já estão produzindo energia elétrica para uso próprio a partir do bagaço e da palha da cana. Além de ser uma energia limpa, as usinas serão beneficiadas, pois vão evitar as queimadas e, conseqüentemente, à liberação de gases à atmosfera, gerando, assim, os chamados créditos no mercado de carbono (Reduções Certificadas de Emissões – RCE), que poderão ser vendidos aos países desenvolvidos que são obrigados a reduzir suas emissões (SOUSA, 2009).

2.3 CRÉDITO DE CARBONO E O SETOR SUCROALCOOLEIRO

A co-geração de energia a partir do bagaço da cana é considerada uma tecnologia limpa, emitindo menos gases de efeito estufa quando comparada às termoeletricas a gás natural ou a óleo. Essa redução de gases pode ser mensurada, e a cada tonelada de CO₂ que deixa de ser emitida, gera-se um crédito de carbono que pode ser comercializado. A co-geração de energia a partir do bagaço da cana permite que se obtenham créditos de carbono, que estão sendo validados por uma empresa certificadora para serem comercializados (FERNANDES, 2007).

Créditos de Carbono são certificados que autorizam o direito de poluir. O princípio é simples. As agências de proteção ambiental reguladoras emitem certificados autorizando emissões de toneladas de dióxido de enxofre, monóxido de carbono e outros gases poluentes. Inicialmente, selecionam-se indústrias que mais poluem no País e a partir daí são estabelecidas metas para a redução de suas emissões. As empresas recebem bônus negociáveis na proporção de suas responsabilidades. Cada bônus, cotado em dólar, equivale a uma tonelada de poluentes. Quem não cumpre as metas de redução progressiva estabelecidas por lei, tem que comprar certificados das empresas mais bem sucedidas. O sistema tem a vantagem de permitir que cada empresa estabeleça seu próprio ritmo de adequação às leis ambientais. Estes certificados podem ser comercializados através das Bolsas de Valores e de Mercadorias, como o exemplo do Clean Air de 1970, e os contratos na bolsa estadunidense (KHALILI, 2003).

Uma avaliação subjetiva na co-geração de energia elétrica, considerando o potencial das tecnologias existentes, mostra que o perfil do setor e as diferenças tecnológicas e de capacidade entre as usinas indica um potencial realizável entre 4.000 e 5.000 MW, para 350 milhões de toneladas (Mt) por ano (CADERNOS NAE, 2005).

2.4. A FIBRA DO BAGAÇO DE CANA E SUA POTENCIALIDADE COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS

Segundo AGOPYAN et al. (1990), está se observando, internacionalmente, um aumento no emprego de materiais reforçados com fibras naturais. Fatores como o menor custo, a baixa energia consumida tanto para a fabricação como para o transporte, a indisponibilidade dos materiais convencionais no local e o conseqüente aumento nos preços fazem com que esta busca se torne incessante.

A biomassa é fonte inesgotável de recursos naturais e disponíveis, apresentando-se na forma de resíduos de várias indústrias (madeira, móveis), resíduos agroindustriais (bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz e de outros cereais), ou partículas obtidas no meio rural através da desintegração mecânica de colmos (bambu) (MARTINS, 2002).

É possível melhorar as propriedades mecânicas do compósito, segundo AGOPYAN (1993), ao adicionar-se fibras às matrizes frágeis. Isso faz com que elas tenham maior resistência à tração, à flexão e ao impacto.

AGGARWAL (1995) investigou a otimização de compósitos utilizando partículas de bagaço de cana-de-açúcar, na construção civil. As primeiras placas apresentaram as seguintes características: absorção de água 12,5 – 14,5%; resistência à flexão 8,85 – 9,60 MPa e resistência à tração 1,60 – 1,14 MPa. O autor chegou às seguintes conclusões: a diminuição da absorção de água fez que a pressão ótima chegasse a 2 – 3 MPa; o aumento da proporção de fibras provocou uma diminuição da densidade e um aumento do teor da absorção de água e a resistência à flexão aumentou com o aumento do teor de fibras até atingir 16%, a partir do qual o valor da resistência começou a decrescer.

Sarmiento e Freire (1997) caracterizaram as fibras de bagaço de cana-de-açúcar para fins de utilização em painéis de argamassa de compósito à base de cimento. As fibras passaram por todo um processo de desmedulamento, lavagem e mineralização, sendo testados diferentes traços e variadas porcentagens de fibras (0, 10, 20 e 30%, em massa). Os autores chegaram às seguintes considerações: a resistência à compressão simples e a resistência à tração na compressão diametral de corpos-de-prova de argamassa de cimento e areia reforçada com fibras de bagaço de cana-de-açúcar apresentaram decréscimos acentuados em seus valores, sendo que foram tanto menores quanto maiores foram os teores de fibra estudados; a mesma tendência foi observada no caso da massa específica aparente do compósito. No entanto, ao observarem e analisarem os resultados ao longo do tempo, os corpos-de-prova de argamassa de cimento e areia reforçada com fibras aumentou sua resistência de forma muito mais notável do que a mesma argamassa simples sem qualquer adição de fibras.

Para cada tonelada de cana-de-açúcar, são gerados cerca de 260 kg de bagaço com 50% de umidade (CORDEIRO, 2006), sendo que deste total 95% do bagaço são utilizados, hoje no Brasil, em caldeiras para produção de vapor (ANJOS; MARTINELLI, 2008). No entanto, com a crescente safra de cana-de-açúcar e a crescente produção e demanda de álcool combustível e açúcar, os 5% restantes levam a um grande montante de resíduo remanescente nas usinas.

A utilização de parte do bagaço remanescente, não utilizado em caldeiras, já vem sendo reciclado como complemento para ração animal. Uma terceira alternativa é a sua aplicação como reforço em matrizes de cimento, uma vez que a tendência de se usar fibras naturais em substituição à fibra do amianto crisotila é cada vez maior e experimentos provam sua eficácia para tal fim.

CAPÍTULO 3

COMPÓSITOS

3.1. DEFINIÇÃO E PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

Todo material obtido a partir de diferentes componentes é definido como compósito, sendo que a combinação destes componentes proporciona características favoráveis que, isoladamente, os elementos primários não possuem. A proporção destes componentes atua diretamente no resultado final das características adquiridas (MESA – VALENCIANO, 2004).

A análise microestrutural é usada para explicar as principais propriedades dos materiais polifásicos, a partir de sua estrutura. Possíveis descontinuidades, dentro de uma fase ou entre fases, tais como poros ou fissuras, interferem no comportamento mecânico e na durabilidade do material. É o caso dos compósitos fibrosos, por exemplo, em que o aumento da aderência interfacial pode reverter-se em ganho para a resistência mecânica, para a durabilidade e, dentro de certos limites, para a ductilidade (SAVASTANO, 1992).

Entretanto, quantificar a participação da zona de transição nas propriedades dos compósitos é difícil, pois depende de características dos materiais envolvidos como, por exemplo, o tipo de fibra. Além disso, muitas técnicas empregadas para tornar ótima a interface acabam por melhorar o desempenho da matriz como um todo, como ocorre com a moldagem sob pressão em compósitos fibrosos (SAVASTANO, 1992).

3.1.1. Concreto reforçado com fibras

Concreto reforçado com fibras pode ser definido como um material feito com cimento Portland, agregados, e contendo fibras descontínuas misturadas. O papel das fibras descontínuas, distribuídas aleatoriamente, é o de atravessar as fissuras, que se formam no concreto, seja quando sob a ação de cargas externas ou quando sujeito a mudanças na temperatura ou na umidade do meio ambiente. As fibras provocam uma certa ductilidade após a fissuração (THOMAZ, 2009)

Savastano Jr. (1992) estudou a zona de transição entre as fibras e a pasta de cimento Portland, quando verificou ensaios de arrancamento e outros para compósitos com

grande número de fibras (estes, com espaçamento e orientação reais). Os primeiros possibilitam a observação direta da aderência fibra-matriz, e os últimos têm a vantagem de fornecer a influência da aderência da fibra sobre as propriedades do compósito, além de serem de mais fácil execução. Durante o carregamento do material, a tensão de aparecimento da primeira fissura costuma aumentar com a aderência e, ainda, com a relação comprimento-diamêtro e concentração de fibras. Como consequência, obtém-se o acréscimo da resistência à tração na fase elástica de solicitação e, geralmente, a redução da ductilidade, a partir do momento em que o escorregamento da fibra é substituído pela sua ruptura, já no estágio de pós-fissuração.

A maior aderência fibra-matriz, por sua vez, é conseguida por meio do melhor desempenho da interface, como foi proposto por Morrison² et al. Citado por Savastano (1992). A redução da porosidade e da concentração de portlandita são expostos por Massazza e Costa³, citados por Savastano (1992), como os principais indicadores para modificação da zona de transição.

Sabe-se, também, que o emprego de fibras de perfil irregular chega a conferir acréscimos de até 10% para a resistência à tração do compósito, ao ser comparada à resistência obtida com fibras retas e lisas. Esses resultados foram expostos por Bentur⁴ et al. em seus experimentos com fibras de aço (SAVASTANO, 1992).

É importante salientar, também, que as fibras não são as únicas responsáveis pelo melhor desempenho dos compósitos. Aumentos na resistência à tração, deformação específica e ductilidade podem ser alcançados por meio de proporcionamento adequado de agregados (no caso de concretos e argamassas) e da relação água-cimento, a fim de aumentar a resistência de aderência na zona de transição (SAVASTANO, 1992).

² MORRISON, J.K.; SHAH, S.P.; JENQ, Y.-S. Analysis of fiber debonding and pullout in composites. – **Journal of Engineering Mechanics**, v.114, n.2, p.277-94, Feb. 1988.

³ MASSAZZA, F.; COSTA, U. Bond: paste-aggregate, paste-reinforcement and paste-fibres. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 8., Rio de Janeiro, 1986. **Proceedings**. Rio de Janeiro, Abla, 1986. v.1, p.158-80.

⁴ BENTUR, A.; MINDESS, S.; DIAMOND, S. Pull-out processes in steel fibre reinforced cement. **The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**, v.7, n.1, p.29-37, Feb. 1985.

3.1.2. Concreto reforçado com fibras naturais

Fibras naturais, derivadas de vegetais e de madeira, há muito são consideradas potencialmente atrativas na aplicação como reforço do cimento, devido à sua grande disponibilidade e baixo custo. Estudos, no sentido de desenvolver argamassa e concreto para edificações de baixo custo, vêm sendo feitos nos últimos anos, sendo que a adição de fibras naturais em substituição da fibra do amianto e em outras situações tem sido bastante explorada.

A utilização de fibras naturais ou artificiais, como reforço de pastas, argamassas e concretos, tem se revelado de grande importância, pois permite a obtenção de produtos chamados compósitos que, além de apresentarem menor massa específica aparente e maior porosidade, apresentam, também, valores satisfatórios de resistência à tração e ao impacto, maior controle de fissuração, além de comportamento dúctil na ruptura. Guimarães⁵ e Agopyan⁶, citados por Savastano, (2003), relataram diversas experiências sobre o uso de matrizes à base de cimento reforçado com fibras naturais, no Brasil, para produção de componentes construtivos, como telhas, painéis de vedação vertical, caixas d'água e pias de cozinha. Em todo o mundo, esses fibrocimentos alternativos já fazem parte de programas de transferência tecnológica, especialmente no que se refere a sistemas de cobertura de baixo custo, como reportado em GRAM & GUT⁷ e DELVASTO et al.⁸ (SAVASTANO, 2003).

As características do concreto reforçado com fibras dependem muito da resistência mecânica da matriz, do seu módulo de deformação e da sua adesão com as fibras. Modificações nessas características podem otimizar a eficiência das fibras e aumentar sua durabilidade na matriz cimentícia (PIMENTEL et al., 2006).

Segundo a pesquisa de Savastano Jr., (1992), pode-se afirmar que, embora as fibras naturais existam em abundância a um custo relativamente baixo, algumas de suas

⁵ GUIMARÃES, S.S. Vegetable fiber – cement composites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VEGETABLE PLANTS AND THEIR FIBRES AS BUILDING MATERIALS, 2., 1990, Salvador, *Proceedings...* London: **Chapman and Hall**, 1990. p.98-107. (Rilem Proceedings, 7)

⁶ AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: uso de fibras vegetais**. 1991. 204 f. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

⁷ GRAM, H.E.; GUT, P. *Directives pour le contrôle de qualité*. St Gallen: Skat/BIT, 1994. 69 p. (Serie Pedagogique TFM/ TVM: Outil 23).

⁸ DELVASTO, S.A.; GUTIERREZ, R.; LOPEZ, M.M. *Como hacer tejas con fibra de fique*. 2 ed. Cali: Departamento de Materiales de Ingeniería – Universidad Del Valle, 1995. 16 p. (Programa “Aprovechamiento Integral del Fique”, 4.)

desvantagens permanecem como o baixo módulo de elasticidade, alta absorção de água, susceptibilidade ao ataque de insetos e fungos, carência de durabilidade em meio alcalino e variabilidade das propriedades de fibras do mesmo tipo.

Ao se considerar a compatibilidade de fibras naturais com matrizes cimentícias, quatro problemas deverão ser considerados:

- O baixo módulo de elasticidade e a fraca ligação fibra-matriz, que levanta o questionamento se realmente este tipo de fibras poderiam efetivamente ser utilizadas como reforço do concreto;
- Algumas espécies de madeira ou plantas podem retardar o tempo de hidratação do cimento;
- A estabilidade dimensional do compósito, a qual pode ser inferior se comparada a outros compósitos, devido à capacidade de absorção da fibra;
- A durabilidade em longo prazo e a perda de resistência à tração e compressão é questionável, devido às variações biológicas, químicas e físicas que a fibra poderá vir a sofrer.

Outro problema encontrado na produção de compósitos reforçados com fibras vegetais, segundo Silva (2002) é o processo de moldagem e adensamento de argamassas e concreto, ou seja, betoneiras comuns para mistura e vibração para adensamento, gerando problemas que podem ser resumidos em: má distribuição das fibras no interior da matriz; dificuldade de moldagem com teores elevados de fibras; baixas resistências, causadas pela necessidade de aumento na relação a/c para melhorar a trabalhabilidade da matriz ou concreto em consistência fluida; além de problemas que se referem à durabilidade.

Bentur e Akers⁹, citado por Savastano (1992), estudaram a evolução da zona de transição em compósitos à base de cimento com fibras de celulose e registraram a ocorrência do aumento de porosidade e do acúmulo de portlandita já nas primeiras idades. Em seguida, foram empregadas diversas condições de envelhecimento e constatou-se a "petrificação" das fibras, cujos vazios internos teriam sido preenchidos por produtos de hidratação do cimento, sob condições propícias de carbonatação. Como conclusão do trabalho, constataram a redução da tenacidade do compósito após o seu envelhecimento, com predominância de quebra das fibras.

⁹ BENTUR, A.; AKERS, S.A.S. The microstructure and ageing of cellulose fibre reinforced cement composites cured in a normal environment. **The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**, v.11, n.2, p.99-109, May 1989.

3.2. DEFINIÇÃO E PROPRIEDADES DA MATRIZ

A estrutura do concreto é altamente heterogênea e complexa, dificultando o estabelecimento de modelos exatos que permitam, com segurança, como será o seu comportamento frente a algumas ações. No entanto, pode-se obter uma noção destes comportamentos através de análise da estrutura e das propriedades dos seus constituintes, bem como a relação entre eles. Em termos visuais, uma amostra de concreto pode ser identificada como sendo composta por partículas de rocha com formas e tamanhos variados, distribuídas em um meio ligante, constituído de uma massa contínua de pasta endurecida. Ou seja, pode-se considerar o concreto como um material bifásico formado e partículas de agregados dispersas em uma matriz cimentícia (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Em termos microscópicos, a estrutura do concreto é mais complexa, visto que as duas fases da estrutura não estão distribuídas homogeneamente, uma em relação à outra, nem são em si mesmas homogêneas. Podem ocorrer situações onde a pasta é extremamente densa, comparável ao agregado graúdo, e outras, onde a pasta é extremamente porosa, prevalecendo uma estrutura com vazios capilares. Concretos feitos com uma mesma quantidade de cimento, mas com diferentes teores de água, apresentam estruturas completamente diferentes entre si. Assim sendo, inúmeros aspectos relacionados ao comportamento do material só podem ser entendidos e explicados quando as propriedades desta região são analisadas (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Em nível ainda mais profundo, cada uma das fases é subdividida em elementos com natureza diversa. As partículas de agregado são formadas por inúmeros minerais, além de microfissuras e vazios. A matriz da pasta e a zona de transição contém, geralmente, uma distribuição heterogênea de cristais, com diferentes tipos e quantidades de fases sólidas, poros e microfissuras. Além disto, a estrutura do concreto não permanece estável ao longo dos anos, pois tanto a pasta de cimento quanto a zona de transição sofrem alterações em função da umidade ambiente, da temperatura e da idade (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

As matrizes frágeis reforçadas com fibras são exemplos importantes de materiais de construção polifásicos e recebem a denominação de compósitos. As matrizes são compostas de aglomerantes minerais e de agregados, que dão origem a concretos, argamassas ou pastas, conforme as necessidades de uso. As fibras para reforço podem ser naturais, como as vegetais e de amianto, ou artificiais, como as fibras plásticas, de aço e de vidro (SAVASTANO, 1992).

As matrizes mais utilizadas são aquelas à base de cimento Portland, em decorrência de sua maior resistência mecânica e durabilidade. As fibras, geralmente empregadas em pequenas porcentagens em volume, são curtas e se distribuem aleatoriamente na matriz. Esse reforço, que pode ser bi ou tridimensional, deve resistir a solicitações estáticas ou dinâmicas, porém não substitui a armadura convencional, que tem de resistir aos esforços em certa direção e em região específica da peça estrutural (SAVASTANO, 1992).

Savastano Jr. et. al. (1994) relatam que as fibras vegetais, em geral, induzem elevado fluxo de água em sua direção, no interior da matriz, criando condições para a formação de zonas de transição muito porosas. Savastano Jr. (1992) afirma que isso faz reduzir a resistência da fibra e sua aderência com a matriz, o que permite maior deslizamento entre as fases. Para combater esse tipo de comportamento, Coutts e Warden¹⁰ sugeriram que o compósito seja moldado sob pressão, com a conseqüente redução da relação água-cimento. Uma vez retirada a pressão, a fibra porosa devolve à matriz parte da água por ela absorvida, o que ajuda a manter a interface mais densa (SAVASTANO, 1992).

3.3. DEFINIÇÃO E PROPRIEDADES DA BIOMASSA VEGETAL

A biomassa vegetal é fonte inesgotável de recursos naturais, renováveis e disponíveis, apresentando-se na forma de resíduos industriais (serragem, maravalhas, cavacos, talos de frutas, etc.), agroindustriais (bagaço de cana-de-açúcar, casca e palha de cereais), ou partículas obtidas no meio rural através da desintegração mecânica de colmos (bambus) (MESA - VALENCIANO, 2004).

Algumas das fibras disponíveis e já estudadas no Brasil são malva, coco, polpa de celulose, sisal, cana-de-açúcar, casca de arroz. Estas fibras, em forma de resíduos, podem ser aproveitadas na tecelagem, fiação, produção de filtros, mantas, tapetes, substratos agrícola, produção de papel e celulose (MESA-VALENCIANO, 2004).

Atualmente, devido ao encarecimento dos aglomerantes orgânicos e à proibição da utilização do amianto em alguns países, pesquisas sobre a viabilidade da utilização de compósitos biomassa vegetal-cimento voltaram a ser desenvolvidas. Outro fator que impulsiona a ampliação dessa linha de pesquisa é a preocupação com o meio ambiente. Busca-se, por meio da utilização de resíduos provenientes da agroindústria, minimizar o gasto

¹⁰ COUTTS, R.S.P.; WARDEN, P.G. Effect of compaction on the properties of aircured wood fibre reinforced cement. *Cement & Concrete Composites*, v.12, p.151-6, 1990.

de energia para a produção de elementos construtivos e evitar danos ao ambiente, causados pela queima desses resíduos (PIMENTEL et. al, 2006).

Os resíduos agro-florestais, sub-produtos decorrentes dos desdobros primários e secundários da exploração da madeira, e os resíduos agrícolas, materiais oriundos de atividades associadas ao ciclo produtivo de culturas como a cana-de-açúcar, o arroz, entre outros, são parcialmente utilizados como fonte de energia (MESA - VALENCIANO, 2004). A co-geração de energia elétrica, por exemplo, é uma forma de transformar parte deste resíduo em recurso renovável.

3.4. FIBRA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR (FBC)

Bagaço é o resíduo lignocelulósico fibroso do colmo da cana-de-açúcar, produzido após moagem e extração do caldo; formado por um conjunto heterogêneo de partículas de tamanho variável entre 1,00 e 25,00mm (média de 20,00 mm), a distribuição em tamanho das partículas do bagaço depende, fundamentalmente, dos equipamentos de preparação da cana e, em menor grau, dos moinhos e da variedade da cana-de-açúcar Geplacea¹¹, citado por Sarmiento, (1996).

Em comparação com outros resíduos agro-industriais, pode-se afirmar que o bagaço reúne uma série de condições, o que faz com que ele seja o material fibroso com mais possibilidades de industrialização, já que encontra-se potencialmente disponível em grandes quantidades; para cada tonelada de açúcar, se obtém aproximadamente 2,5 toneladas de bagaço com 50% de umidade, Pndu¹² citado por Sarmiento, (1996).

3.4.1. Processamento da FBC

A cana-de-açúcar é recebida na indústria de duas formas, inteira ou picada. A inteira é obtida através do corte manual da lavoura, esta forma traz impurezas e terra associada à matéria prima. Já a cana picada é obtida através do corte mecânico, por máquinas colheitadeiras, esta forma traz a matéria prima mais livre de impurezas para a indústria. Na

¹¹ GEPLACEA – Manual de los derivados de la caña de azucar. Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azucar. 1990, 447 p.

¹² PNUD – RLA – La diversificación de la agroindustria de la caña de azucar em América Latina y el Caribe. 1986

Jalles Machado, indústria onde o bagaço de cana-de-açúcar em estudo foi obtido, 80% da matéria prima é colhida mecanicamente, e apenas 20% manualmente.

Antes de se iniciar o processo de produção, tanto a cana inteira quanto a picada passam por processo de lavagem para serem removidas as impurezas. Posteriormente, toda matéria prima segue para um “picador”, neste caso, de 6100 rpm. Na sequência, segue para o desfibrilador, onde as fibras da cana-de-açúcar são abertas para melhor aproveitamento de seu caldo, pois 70% dela é bagaço e apenas 30% é líquido aproveitado pela indústria sucro-alcooleira.

O processo de moagem é então iniciado, ocorrendo a extração do caldo, simultaneamente, através da moagem e lavagem do bagaço, que passa por cinco ternos de moagem, durante quatro horas.

O 1º terno de moenda ocorre com 3700 rpm e são queimadas por vapor, conforme análise de laboratório, pressão > ou <; passa para o 2º terno, onde a pressão é > que 4000 psi. A quantidade de líquido neste terno diminui bastante, assim, sucessivamente em todos os outros ternos, a quantidade de líquido agregado ao bagaço vai diminuindo, até chegar ao 5º e último terno, Figuras 3.1 (a) e (b), onde o bagaço sai praticamente seco. Na última lavagem, o caldo que sai do bagaço é praticamente composto só por água, 140m³/h e fibra, com baixíssimo teor de açúcar residual.

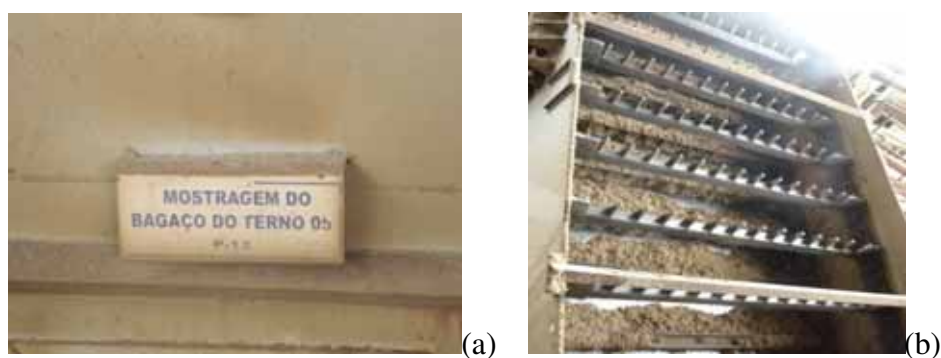


Figura 3.1 – (a) 5º terno do sistema de moagem da cana-de-açúcar;
(b) Moenda do 5º terno. Foto: Janaina F. Silva

Depois do processo de extração do caldo, parte do bagaço segue pela esteira direto para as caldeiras, onde é queimado para produção de energia elétrica; outra parte segue para local específico onde é armazenado para a queima no período da entressafra.

O caldo segue para os tanques de decantação, eliminando-se as impurezas e iniciando-se o processo de fermentação para produção do álcool e do açúcar.

A queima do bagaço é controlada por computadores, via operador. A quantidade de vapor depende da quantidade de energia elétrica exigida no processo produtivo e para sua venda às concessionárias de eletricidade. A queima ocorre em torno de 450°C.

Como a Indústria Jalles Machado vende créditos de carbono, a fumaça, produzida durante a queima, vai para o lavador de gases, onde existem filtros que retêm o CO₂, passando apenas o vapor quente para o meio ambiente. A cinza existente na fumaça que sobe durante a queima é retirada através de um “lavador de gases”, Figura 3.2, por decantação com polímero, posteriormente é retirada por vácuo e encaminhada para a compostagem. O CO₂ que não é emitido para o meio, é vendido para Holanda, através de créditos negociados em bolsa de valores.



Figura 3.2 – Lavador de gases. Foto: Janaina F. Silva

3.4.2. Composição Física da FBC

Segundo Sarmiento (1996) o bagaço de cana-de-açúcar é composto de fibras (43 a 52%), água (46 a 52%) e pequenas quantidades de sólidos solúveis (sacarose, cera) e não solúveis (terra, pedras), estes num total de 2 a 6%; porém esta composição varia dependendo da qualidade da cana empregada, do tempo de maturação, método e época de colheita, além do processo de extração do caldo utilizado no processo de industrialização do álcool ou açúcar.

O que se chama de fibra é, em verdade, um conjunto de filamentos individuais formados por fibrilas unidas por componentes químicos orgânicos não cristalinos (lignina e hemicelulose). Estas fibrilas são compostas por moléculas de celulose e estão orientadas em ângulos distintos, formando as diversas camadas que compõem a macrofibra. Esta composição química determina a estabilidade aos efeitos da degradação, propriedade importante para o uso em compósitos (SILVA, 2002).

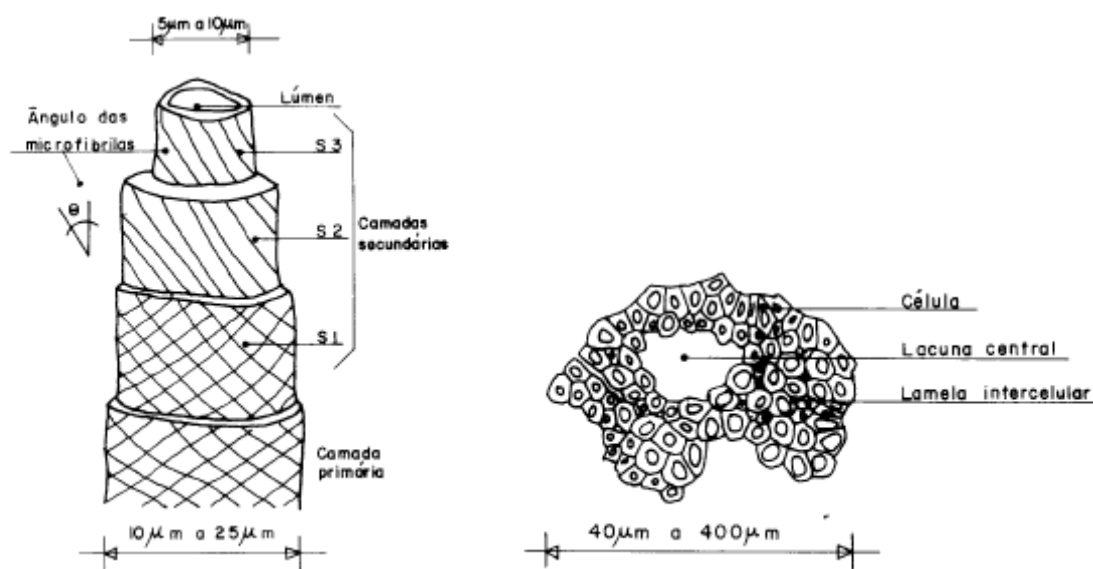
A Figura 3.4 representa fibras vegetais sendo que as células da fibra tem de 10 µm a 25 µm de diâmetro e, segundo Coutts¹³, citado por Savastano (1992), são compostas por quatro camadas de microfibrilas, Figura 3.3(a) e (b): camada primária, mais externa, de estrutura reticulada; camada secundária S1, de estrutura também reticulada; camada secundária S2, onde as microfibrilas estão orientadas segundo um ângulo é com relação ao eixo longitudinal da célula, em espiral, e camada secundária S3, mais interna, também com as microfibrilas em forma de espiral. A camada S2 é a de maior espessura e, também, a de maior teor de celulose. No interior da célula, ha uma cavidade central de secção elíptica, com dimensão de 5 µm a 10 µm, denominada lúmen. As diversas células que compõem a fibra, encontram-se aglomeradas pela lamela intercelular, composta de hemicelulose, pectina e, principalmente, lignina (70%, em media). A região central da fibra também pode apresentar uma cavidade que se chama lacuna Gram¹⁴, citado por Savastano (1992).

Segundo Paturau¹⁵, citado por Sarmiento (1996), as fibras do bagaço de cana-de-açúcar se caracterizam por terem alto índice de enfiletramento (relação comprimento/diâmetro), e elevado coeficiente de inchamento e contração, sob umidificação e secagem, resultando em estreito entrelaçamento de uma fibra com a outra. As células da medula são de forma e tamanho irregulares, apresentando índice de enfiletramento igual a 5 e alta capacidade de absorção de líquidos, não se entrelaçando umas com as outras. As características típicas da fibra de bagaço de cana-de-açúcar estão apresentadas no Tabela 3.1.

¹³ COUTTS, R.S.P. "From forest to factory to fabrication". In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FIBRE REINFORCED CEMENT AND CONCRETE, 4., Sheffield, 1992. **Proceedings**. London, E & FN Spon, 1992. p. 31-47. (RILEM Proceedings, 17)

¹⁴ GRAM, H.-E. Durability of natural fibres in concrete. In: SWAMY, R.N., ed. **Natural fibre reinforced cement and concrete**. Glasgow, Blackie, 1988a. p.143-72. (Concrete Technology and Design, 5)

¹⁵ PATURAU, J. M. – By-Products of the Cane Sugar Industry. Sugar Series nº 3, 2nd Ed. Amsterdam, Elsevier. 366p. 1982.



a) Célula individual.

b) Fibra: aglomerado de células.

Fig. 3.3 Esquema da estrutura de fibra vegetal (sem escala) (SAVASTANO, 1992)

Tabela 3.1 – Características Típicas da Fibra de Bagaço de Cana-de-açúcar
(SARMIENTO, 1996)

Característica da fibra	AZIZ et al. (1986)	RACINES; PAMA (1978)
Densidade relativa	1,20 – 1,30	1,25
Massa específica aparente (kg/m ³)	300 - 400	---
Diâmetro da fibra (mm)	0,20 – 0,40	0,24
Comprimento da fibra (mm)	50 - 300	26,03
Resistência à tração (MPa)	70 - 290	200,2
Módulo de elasticidade (10 ³ MPa)	15 - 19	17,23
Absorção de água (%)	70 - 75	78,5
Teor de umidade (%)	---	12,1

3.4.3. Composição Morfológica da FBC

Sarmiento (1996) apresenta a fibra do bagaço de cana-de-açúcar sendo composta por diferentes elementos morfológicos na seguinte proporção:

- Fibras longas da polpa 50%
- Parênquima 30%
- Vasos fibrovasculares 15%

- Células epidérmicas 5%

A epiderme, capa fina que recobre a cana, atua como camada impermeabilizante, e contém abundantes componentes não fundamentais da cana, quimicamente classificados como extrativos.

A polpa, composta de fibras muito lignificadas, tem como função principal sustentar a planta. No seu interior encontra-se o tecido parenquimatoso, cuja função é armazenar o suco açucarado, sendo que, dentro deste tecido, aparecem os vasos fibrovasculares compostos por fibras e vasos que, conjuntamente, cumprem a função de sustentar e conduzir os alimentos e produtos elaborados ao longo das folhas da planta.

As Figuras 3.4 (a) e (b) mostram o bagaço integral, após o processo de moagem, onde seu conteúdo, em base seca, é aproximadamente:

- Fibra 55 – 60%
- Medula 30 – 35%
- Finos, terra e solúveis 10 – 15%

Contudo, estes valores vêm sofrendo variações com o desenvolvimento da mecanização e com a utilização crescente de variedades mais leves de cana, com baixo conteúdo fibroso e alto teor de sacarose (SARMIENTO, 1996).

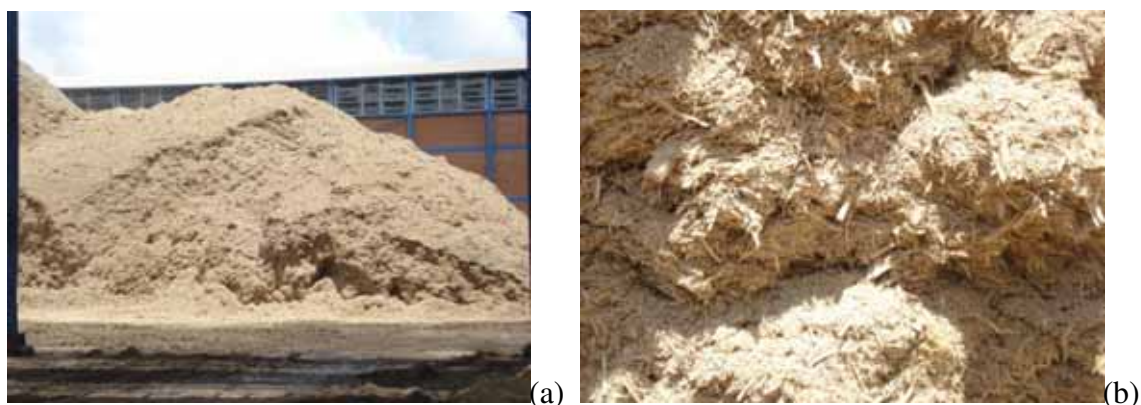


Figura 3.4 – Bagaço integral após processo de extração do caldo para produção industrial; (a) Monte de bagaço; (b) Zoom aproximado do bagaço. Foto: Janaina F. Silva

3.4.4. Densidade e umidade da FBC

Segundo Geplacea¹⁶ citado por Sarmiento, (1996), a densidade e umidade do bagaço são as duas características físicas mais importantes relacionadas com os processos de utilização industrial.

O bagaço é um material constituído por fibras com espaços vazios entre elas, além de poros e do lúmen. A massa específica aparente do bagaço de cana-de-açúcar que depende de vários fatores, dentre os quais o mais importante é o grau de compactação do material e a umidade.

A umidade do bagaço está em relação direta com o alto nível higroscópico da medula, assim como a porosidade das partículas, daí a grande capacidade de absorção (80 – 85% de umidade); a umidade de equilíbrio média do bagaço está situada entre 9 e 10% (SARMIENTO, 1996).

3.5 COMPÓSITO BIOMASSA VEGETAL-CIMENTO

No caso de compósito biomassa vegetal-cimento, o concreto reforçado com fibras é um bom exemplo, pois as fibras atuam melhorando a resistência à tração, à flexão e ao impacto do concreto. Chatveera e Nimityongskul¹⁷ citado por MESA-VALENCIANO, (2004) relatam aumento da durabilidade de compósitos com fibra de sisal e matriz composta por 70% de cimento Portland comum e 30% de cinzas de casca de arroz, em massa.

As fibras de baixo módulo de elasticidade são incorporadas aos materiais à base de cimento, com o objetivo de aumentar a durabilidade do compósito no estágio de pós-fissuração, o que faz do aumento de resistência um efeito secundário. Para os casos em que o arrancamento da fibra predomina sobre a sua ruptura, tem-se a aderência fibra-matriz como o principal fator de influência sobre a tenacidade do compósito (SAVASTANO, 1992).

As fibras vegetais sofrem grande influência das intempéries e da alcalinidade do meio a que estão expostas Ramaswamy¹⁸ et al. Fibras de sisal e de coco chegam a apresentar

¹⁶ GEPLACEA – Manual de los derivados de la caña de azucar. Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azucar. 1990, 447 p.

¹⁷ CHATVEERA; B. e NIMITYONGSKUL P. Mechanical properties of sisal fibre mortar composites containing rice hush ash. In: **International Symposium on Fibre Reinforced Cement and Concrete**, 4. Sheffield. Proceedings. London, E & FN Spon p.1056-72 (RILEM Proceedings, 17), 1992.

¹⁸ RAMASWAMY, H. S.; AHUJA, B. M.; KRISHNAMOORTHY, S. Behaviour of concrete reinforced with jute, coir and bamboo fibres. **The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concret**, v.5, n.1, p.3-13, Feb. 1983.

até 50% de perda de resistência à tração, quando imersas em solução de hidróxido de cálcio (pH = 12) durante 28 dias Agopyan¹⁹. A água capilar, por ter alcalinidade elevada, dissolve a lignina e a hemicelulose, elementos responsáveis pela aderência entre fibrilas Gram²⁰ (SAVASTANO, 1992).

A durabilidade do compósito com fibras vegetais, por sua vez, pode ser analisada por meio de ensaios que levem em consideração o envelhecimento natural ou acelerado do material, que podem apresentar resultados bastante diversos, dependendo das condições adotadas. Soroushian e Marikunte²¹, citado por Savastano Jr. (1992) testaram, por meio de 120 ciclos de umedecimento e secagem acelerados, a durabilidade de argamassas reforçadas com fibras de celulose (SAVASTANO, 1992). Os autores constataram a redução da tenacidade dos compósitos, provavelmente pela "petrificação" das fibras. Sabe-se, também, que a alternância entre molhagem e secagem é favorável à degradação e posterior lixiviação da lignina, presente na estrutura das fibras vegetais, o que pode reduzir ainda mais a atuação dessas fibras como reforço no interior da matriz.

A zona de interface da biomassa vegetal e o cimento pode apresentar eventuais descontinuidades dentro ou entre as fases, como poros ou fissuras, interferindo no comportamento mecânico e na durabilidade do material. Os fatores que influenciam na zona de transição fibra-matriz e, em conjunto, nas propriedades mecânicas dos compósitos são: tipo de fibra, relação água-cimento e a idade do material (SAVASTANO Jr. et. al. 1994). Contudo, os mesmos autores ressaltam que, as fibras vegetais atuam positivamente no estágio de pós-fissuração do compósito, em que o destacamento das fibras dissipa quantidade elevada de energia, sendo que ensaios em compósitos, por eles realizados, apresentaram diminuição de energia absorvida, aos 180 dias de idade, devido à redução da resistência da fibra e do seu alongamento máximo em meio alcalino.

¹⁹ AGOPYAN, V. Vegetable fibre reinforced building materials - developments in Brazil and other Latin American countries. In: SWAMY, R.N., ed. **Natural fibre reinforced cement and concrete**. Glasgow, Blackie, 1988. p.208-42. (Concrete Technology and Design, 5)

²⁰ GRAM, H.-E. **Durability of natural fibres in concrete**. Stockholm, CBI, 1983.

²¹ SOROUSHIAN, P.; MARIKUNTE, S. Long-term durability and moisture sensitivity of cellulose fiber reinforced cement composites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FIBRE REINFORCED CEMENT AND CONCRETE, 4., Sheffield, 1992. Proceedings. London, E & FN Spon, 1992. p.1166-84. (RILEM Proceedings, 17)

Saxena et al.²² e Shimizu e Jorillo Jr.²³, citados por Savastano, (1992), estudaram compósitos com fibras de sisal e de côco, respectivamente. Nos dois trabalhos, foi salientada a potencialidade do uso desse material para produção de componentes para cobertura e para vedação lateral, em virtude do aumento de ductilidade conferido pelas fibras de baixo módulo. No entanto, ressaltaram a necessidade de melhoria da zona de transição, para incremento da durabilidade do compósito (SAVASTANO, 1992).

3.5.1 Incompatibilidade biomassa vegetal FBC-cimento

As fibras naturais podem sofrer degradação quando expostas ao ambiente alcalino. A decomposição da celulose se dá segundo mecanismos de descascamento e de hidrólise alcalina. O mecanismo de descascamento é razoavelmente inofensivo, graças ao alto grau de polimerização da celulose, só se intensificando a temperaturas superiores a 75 °C (CEPED, 1992). Este mecanismo de degradação também foi reportado por Toledo Filho et. al.²⁴ citado por Pimentel, (2004).

A incompatibilidade física é resultado das diferenças significativas na movimentação higroscópica das fibras e da argamassa. As fibras tendem a se movimentar mais, e tal fato gera esforços mecânicos cíclicos na matriz, os quais podem levar à microfissuração generalizada (PIMENTEL, 2006). BERALDO et. al. (1996) afirmam que tanto a biomassa vegetal como o cimento têm características e propriedades que influenciam no composto; a presença de substâncias químicas, como o açúcar, pode retardar ou até mesmo inibir a pega do cimento.

As matérias primas de origem vegetal, em sua grande parte, são inibidoras à pega e à hidratação do aglomerante. Esse comportamento indesejável, pode ser atribuído à presença de substâncias solúveis em água.

²² SAXENA, M. et al. Development of sisal cement composites as substitute for asbestos cement components for roofing. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FIBRE REINFORCED CEMENT AND CONCRETE, 4., Sheffield, 1992. **Proceedings**. London, E & FN Spon, 1992. p.1140-51. (RILEM Proceedings, 17)

²³ SHIMIZU, G.; JORILLO JR., P. Coir fibre reinforced cement based composite - part 1: microstructure and properties of fibre-mortar. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FIBRE REINFORCED CEMENT AND CONCRETE, 4., Sheffield, 1992. **Proceedings**. London, E & FN Spon, 1992. p.1080-95. (RILEM Proceedings, 17)

²⁴ TOLEDO FILHO, R. D.; NASCIMENTO, J. W. B.; GHAVAMI, K. Materiais compósitos reforçados com fibras naturais vegetais. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - Simpósio Materiais não convencionais para construções rurais. Campina Grande PB, **Anais...** UFPB, p. 49-82, 1997.

3.5.2 Tratamento da FBC para redução da incompatibilidade com o cimento

Pesquisas variadas buscam solucionar a baixa durabilidade das fibras vegetais em matriz cimentícia, os tratamentos baseiam-se em quatro procedimentos apresentados por Pimentel (2004):

- Modificação na matriz de modo a reduzir a alcalinidade (obtida com cimentos alternativos à base de escória de alto forno);
- Vedação dos poros da matriz (obtida com adição de polímeros);
- Impermeabilização da superfície do componente final;
- Proteção das fibras por impregnação de produtos impermeabilizantes ou pela ação de tratamento químico.

Nesta pesquisa foi tratada apenas o último caso, proteção das fibras por impregnação de produtos impermeabilizantes ou pela ação de tratamento químico, após lavagem da FBC para diminuição do teor de açúcar residual na fibra.

3.5.2.1 Lavagem

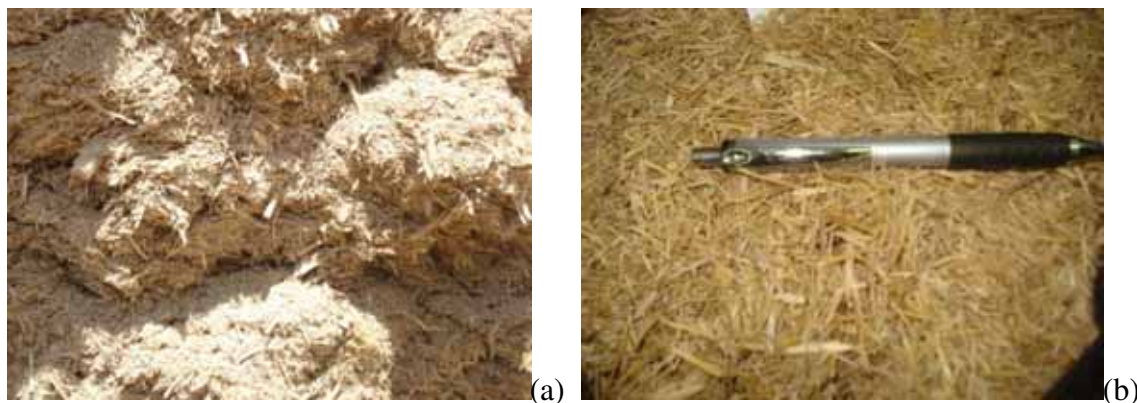
Sarmiento (1996) apresenta o tratamento como sendo uma das técnicas mais simples e econômicas, sendo que o tempo e a temperatura podem ser variáveis. Teixeira e Guimarães²⁵ citados por Sarmiento, (1996), não verificaram diferença entre o período de ½ hora e o de 1 hora, na lavagem a quente (80°C) de partículas de *Acacia meansii*.

3.5.2.2 Fervura

Após observação do processo produtivo nas usinas visitadas para realização da pesquisa, foi constatado que a sacarose é retirada do bagaço após a moagem e lavagem a quente do bagaço por várias vezes, daí verificou-se que quanto mais repetições de lavagem a quente, maior o aproveitamento da sacarose. Daí, neste trabalho, será averiguada a eficiência da fervura da fibra do bagaço de cana-de-açúcar em comparação à lavagem simples em água corrente. Observa-se também que, após o procedimento de lavagem e fervura as fibras

²⁵ TEIXEIRA, D. E. e GUIMARÃES, T. L. – Tratamento de partículas de acácia mearssii de wild. para produção de chapas de cimento-madeira, LPF – Série Técnica N 11, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Ministério do Interior, 9 p. 1989.

tornam-se mais soltas e com menor porcentagem de finos, terra e solúveis, conforme as Figuras 3.5 (a) e (b).



Figuras 3.5 – (a) Bagaço de cana-de-açúcar “*in natura*”; (b) Bagaço de cana-de-açúcar após processo de lavagem e fervura. Foto: Janaina F. Silva

3.5.2.3 Mineralização

Mineralização é uma técnica que se constitui, na verdade, na impregnação da fibra por produtos que buscam limitar a liberação de agentes inibidores e melhorar a estabilidade dimensional, ou seja, a impregnação das partículas com substâncias inorgânicas, como sais, formando soluções. A técnica é aplicada em fibras vegetais, auxiliando no auxílio à eliminação do efeito de absorção de água e na prevenção do apodrecimento por ataque de fungos e bactérias.

3.5.2.3.1 Mineralização Química

A pega do cimento é inibida pela sacarose Wïenhaus²⁶ citado por Sarmiento, (1996). Algumas soluções possíveis são:

- Mineralização das partículas com soluções hidrolizadas de sais, tais como cloreto de cálcio, cloreto de magnésio ou sulfato de alumínio, que retardam a formação do meio alcalino sobre as partículas;
- Mineralização cuidadosas com “water glass” (solução de silicato de sódio), betume ou polivinil, para fechar os poros das partículas;
- Eliminação ou diminuição de hidratos de carbono de fraca massa molecular.

²⁶ WÏENHAUS, O. – Werkstoffe aus Holz und Zement, Holztechnologie, 20(4), p. 207-215, 1979.

Sarmiento (1992) mineralizou a FBC com silicato de sódio e sulfato de alumínio, obtendo bons resultados na neutralização da sacarose na pega do cimento.

3.5.2.3.2 Mineralização em calda de cimento

A mineralização de fibras naturais pela impregnação com calda de cimento foi proposta por Alves et. al (2008), para contornar a questão da combustibilidade da fibra e imunizá-la ao ataque de fungos e bactérias. Os autores obtiveram bons resultados no tratamento de fibras de bambu.

CAPÍTULO 4

PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi desenvolvido para alcançar o objetivo geral desta dissertação, que é avaliar a potencialidade da reciclagem da fibra do bagaço da cana-de-açúcar (FBC) como fibra natural de reforço a matrizes cimentícias. Desta forma foi estabelecida uma sequência de atividades que estão relacionadas a seguir.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO

Foi realizado um estudo da produção de cana-de-açúcar, álcool, açúcar e, consequentemente, de FBC em Goiás e na região Centro-Sul do país, fazendo uma análise da produção atual e a tendência para o futuro. As principais regiões produtoras e suas principais indústrias foram relacionadas, e dentre elas foram escolhidas duas usinas, com diferentes potencialidades de produção de industrial e de FBC, ambas em regiões distintas no Estado de Goiás. A reciclagem da FBC vem sendo realizada, nas usinas escolhidas, assim como nas demais usinas do Estado de Goiás. A reutilização se dá através da utilização da FBC como complemento de ração animal e como combustível para caldeiras na produção de energia motriz e co-geração de energia elétrica para as próprias usinas, ou vendido para outras cadeias produtivas que também utilizam caldeiras na geração de energia.

Durante a elaboração da caracterização do setor sucroalcooleiro no Estado de Goiás, com intuito de uma avaliação da viabilidade do uso da fibra do bagaço de cana-de-açúcar (FBC) residual como fibra natural de reforço a matrizes cimentícias, foram realizadas visitas técnicas em usinas da região, para melhor compreensão do processo de produção, ternos de moagem do bagaço de cana-de-açúcar, tipo de produção da usina e destinação do resíduo. Também foram realizadas consulta aos dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2009), Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2009) e da Federação da Agricultura e Pecuária em Goiás (FAEG, 2007), além de vários contatos telefônicos com as Usinas que não foram visitadas e leituras de referências bibliográficas específicas sobre a fibras do bagaço de cana-de-açúcar (FBC). Nas Usinas selecionadas A e B fez-se um reconhecimento de todo processo das indústrias, desde a chegada da cana-de-açúcar até a geração da FBC.

A caracterização do setor e do processo produtivo até a obtenção da fibra, encontram-se no Item 5.1.

4.2 COLETA, SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE FBC “IN NATURA”

As fibras residuais do bagaço de cana-de-açúcar foram coletadas junto a indústrias que utilizam biomassa como combustível em processos de produção de vapor associados aos sistemas de co-geração de energia elétrica, assim como parte da FBC também é vendida, por ambas usinas, para outras indústrias que realizam o mesmo processo de produção de vapor.

Foram coletados dois tipos de amostras de fibras de bagaço de cana-de-açúcar (FBC), de duas Usinas do Estado de Goiás. A coleta da FBC da Usina A foi realizada no município de Goianésia e da Usina B no município de Inhumas. As FBCs foram recolhidas logo após sua saída da moenda. As amostras das duas Usinas foram coletadas pelos próprios funcionários das indústrias.

A amostra da Usina A foi colocada num recipiente chamado *big-bag* e foi transportada até Goiânia. A FBC da Usina B foi transportada em sacos de ráfia até Goiânia.

A amostra da Usina A foi armazenada ao ar livre no pátio da escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás e posteriormente levada para os procedimentos preliminares, relatados no Item 4.4.1. A amostra da Usina B foi armazenada no Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, até o início dos procedimentos preliminares. Em seguida, ambas amostras foram caracterizadas e adicionadas como reforço nas matrizes cimentícias para sequência de ensaios experimentais a seguir descritos.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais utilizados no desenvolvimento desta pesquisa foram caracterizados com o objetivo de se avaliar os resultados obtidos nos ensaios e procedimentos com maior precisão.

4.3.1 Fibra do bagaço da cana-de-açúcar (FBC)

Inicialmente foi feita a coleta de amostras de fibras de bagaço de cana-de-açúcar em duas usinas diferentes, a usina A produtora de álcool anidro, álcool hidratado, produtos de limpeza derivados do álcool, açúcar e açúcar orgânico; a usina B produtora apenas de álcool anidro e hidratado. As duas amostras foram submetidas à pesagem, determinação de massa específica, determinação do diâmetro e comprimento, avaliação do teor de açúcar residual, peneiramento manual das FBCs e, posteriormente, submetidas a tratamentos para neutralizar o açúcar residual e melhorar os resultados do compósito FBC-cimento. Todos os procedimentos estão explicados no Item 5.4.

4.3.2 Aditivos químicos

Tendo como base a metodologia utilizada por Sarmiento (1996), foi utilizado tratamento químico nas FBC com a finalidade de “mineralizar” as fibras a fim de protegê-las contra as agressões do meio alcalino do cimento; imobilizar sua matéria orgânica, diminuindo sua capacidade de absorção de água. Os produtos utilizados para tal procedimento são solução de silicato de sódio a 30% e solução de sulfato de alumínio a 5%.

Outra metodologia aplicada foi a mesma apresentada por Alves et al (2008), onde foi empregada calda de cimento, na proporção de 10:1 de água e cimento, para o processo de mineralização.

4.3.3 Cimento e areia

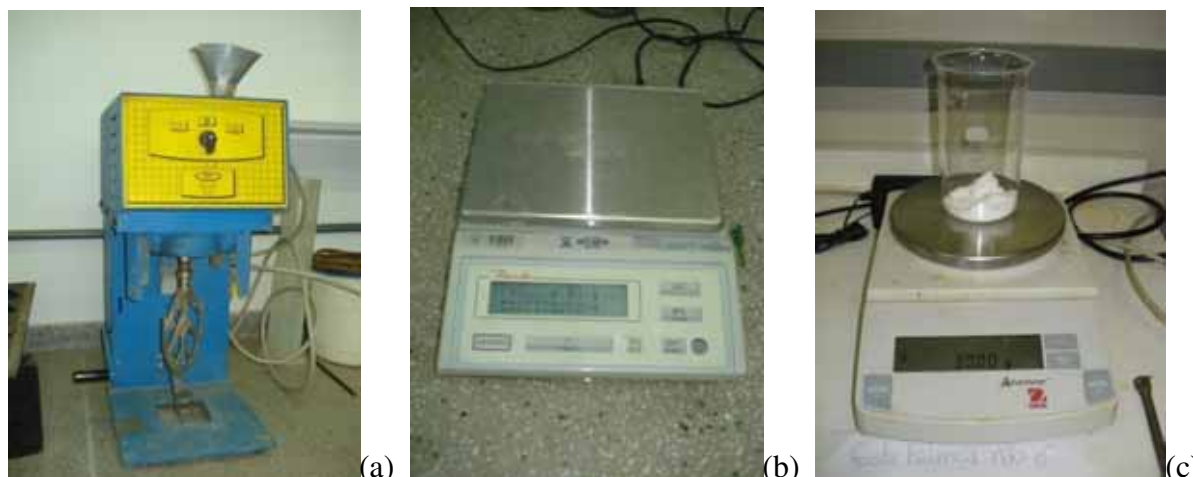
De modo geral, o cimento mais utilizado para produção de pré-moldados e artefatos de cimento é o CP V – ARI, devido as condições favoráveis da alta resistência inicial de permitir que as peças sejam desenformadas e manuseadas com poucas horas depois da moldagem. No entanto, durante a presente pesquisa foi utilizado o CP II – F 32, devido à falta do CP V – ARI no mercado. O cimento CP II – F 32 também é utilizado na fabricação de artefatos e pré-moldados de cimento, no entanto as condições de trabalho não são tão favoráveis quanto ao cimento citado anteriormente.

4.3.4 Equipamentos de laboratório

Neste Item são apresentados os equipamentos de laboratório que serão utilizados nos ensaios para caracterização dos materiais e argamassas.

- Balança de precisão, com sensibilidade de 0,01 g;
- Estufa, com termostato regulável, para determinação do teor de umidade e secagem do material;
- Mesa vibratória;
- Fogão industrial;
- Cronômetro;
- Moldes para corpos-de-prova, com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, soquete, placa de vidro, capeador, etc, para moldagem dos corpos-de-prova;
- Câmara úmida para cura dos corpos-de-prova;
- Paquímetro;
- Prensa de compressão, para a ruptura dos corpos-de-prova à compressão simples e à compressão diametral, marca Emic DL30000N;
- Tubo de ensaio, para determinação da massa específica das fibras, de capacidade de 1 litro;
- Recipientes cúbicos de volume aproximadamente igual a 3d m³, usados na determinação da massa específica aparente, na condição solta e seca;
- Argamassadeira;
- Espátulas;
- Formas metálicas hexagonais usadas para moldagem de blocos para ensaios de compressão simples e absorção de água;
- Betoneira com eixo inclinado.

As Figuras 5.1(a), (b) e (c) mostram alguns dos equipamentos utilizados em laboratório para realização dos ensaios e procedimentos na realização desta pesquisa.



Figuras 4.1 – Equipamentos utilizados: (a) Argamassadeira; (b) Balança de precisão, Laboratório de Materiais de Construção – UCG; (c) Balança de precisão, Laboratório de Química – UFG. Foto: Janaina F. Silva

4.4 MÉTODOS

Os métodos utilizados nos procedimentos e ensaios para o desenvolvimento da pesquisa estarão descritos a seguir.

4.4.1 Ensaios realizados no agregado miúdo – areia

A determinação da composição granulométrica do agregado miúdo, ou seja, a areia foi feita de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). As amostras foram secas em estufa, pesadas e divididas em 300 g. As amostras foram colocadas no agitador mecânico com as peneiras em seqüência de acordo com a série normal (9,5 mm, 4,75 mm, 2,00 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm e fundo). O material retido em cada peneira foi pesado com aproximação de 0,1g. O peneiramento foi realizado no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Goiás e utilizado o Agitador Mecânico Viatest 76773 Kuhardt-Germany.

Segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003), quando a dimensão máxima do agregado é $< 4,75$ mm a massa mínima da amostra de ensaio é de 300 g, dividida em duas etapas de peneiramento, resultando em porcentagens médias retidas em cada peneira, porcentagens médias retidas acumuladas em cada peneira, dimensão máxima característica e no módulo de finura.

O módulo de finura é igual à soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividido por 100.

A dimensão máxima característica é dada pela grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

A determinação da massa unitária foi realizada segundo a NBR 7251 (ABNT, 1982). O volume de material foi o dobro do volume do recipiente utilizado, próprio para agregado ou material com dimensão inferior a 4,8 mm. Preencheu-se o recipiente por meio de uma pá, lançando a areia de uma altura de 10 cm do topo do recipiente, o recipiente foi rasado e pesado (recipiente + areia). Calculou-se a massa unitária da areia, dividindo a massa da areia (kg) pelo volume do recipiente (dm^3).

4.4.2 Ensaios realizados no Cimento Portland II – F 32

4.4.2.1 Determinação da finura

O índice de finura da peneira 75 μm (peneira 200), conforme a NBR 11579 (ABNT, 1991) do cimento é o grau da porcentagem de grãos que passam pela peneira 200. Significa que quanto mais finos tiver o cimento melhor será sua reação e a resistência mecânica.

A finura corresponde à área específica de contato dos grãos de cimento com a água da mistura e é tanto maior quanto mais eficiente for a moagem do clínquer com gesso.

O cimento mais fino possui uma maior superfície específica, o que faz com que as reações de endurecimento e início de pega ocorram mais rapidamente.

Esta propriedade influencia no comportamento do cimento, na velocidade de endurecimento e na reatividade.

4.4.2.2 Superfície específica

Este ensaio foi realizado conforme a NBR NM 76 Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine) (ABNT, 1998). A finura do cimento é determinada como superfície específica, observando-se o tempo requerido para uma determinada quantidade de ar fluir através de uma camada de cimento compactada, de dimensões e porosidade especificadas.

A superfície específica serve principalmente para checar a uniformidade do processo de moagem de uma fábrica. Este método somente permite uma determinação limitada das propriedades do cimento em uso. O método pode não fornecer resultados significativos para cimentos contendo materiais ultrafinos.

Sob condições normalizadas, a superfície específica do cimento é proporcional a t , onde t é o tempo para determinada quantidade de ar atravessar a camada compactada de cimento.

Na avaliação de um processo de moagem é importante a determinação da superfície específica, pois materiais com a mesma granulometria podem apresentar superfícies específicas diferentes em decorrência de vazios interiores e da forma e rugosidade das partículas (CORDEIRO, 2006).

4.4.2.3 Massa específica

A massa específica é numericamente igual à densidade do mineral que constitui os grãos e pode ser determinada facilmente por um picnômetro. Este ensaio foi realizado com o Ultrapycnometer 1000 da QuantaChrome. Este equipamento tem a função de medir o volume e a densidade verdadeira dos objetos sólidos. O objetivo é atingido pelo uso do princípio de Arquimedes do deslocamento dos fluídos e pela lei de Boyle para determinar o volume. Pelo picnômetro de hélio determina-se a massa específica de pós e corpos monolíticos em apenas alguns minutos a partir do deslocamento de volume de hélio. Atua em uma faixa de volume de 1 a 100 ml. O gás hélio desloca e penetra nos mais finos poros. Por esta razão o gás hélio é recomendado uma vez que as pequenas dimensões atômicas asseguram uma penetração nas cavidades e poros com aproximadamente um *angstrom* de dimensão.

4.4.2.4 Tempo de início e fim de pega

Para realização do ensaio de determinação de tempo de pega deve-se determinar a quantidade da água de referência necessária à obtenção da pasta de cimento de consistência padrão, conforme NBR 11580 (ABNT, 1991). O período desde a adição da água até o início das reações com os compostos, ou seja, o início do processo de hidratação, a pasta começa a passar de uma consistência plástica (trabalhável) a uma consistência rígida, sendo este processo chamado de início de pega (aumento da viscosidade e temperatura). O tempo de

início de pega é aquele em que a pasta começa a perder a trabalhabilidade. Este tempo é determinado no ensaio com a agulha de Vicat quando esta estaciona a 1 mm do fundo da amostra. O tempo necessário para solidificar completamente a argamassa marca o tempo de fim de pega, quando a agulha de Vicat não deixa marca sobre a superfície da amostra. A partir deste ponto a pasta começa a desenvolver o ganho de resistência. A massa continua a aumentar a coesão, obtendo-se, então, o endurecimento.

Neste período é o que acontecem as reações químicas iniciais no concreto, antes do mesmo possuir uma determinada resistência. Pode ocorrer falsa pega, quando o gesso leva o concreto a solidificar-se. Uma agitação mais enérgica faz voltar à pega normal.

Quanto mais fino o grão do cimento mais rápido é o início de pega e mais demorado o seu fim.

Este ensaio é de extrema importância, pois determina o período de tempo que o concreto pode ser trabalhado após a sua mistura.

4.4.2.5 Determinação da água de consistência

Conforme NBR NM 43 (ABNT, 2002) Cimento portland – Determinação da pasta de consistência normal é a pasta na qual a sonda de Tetmajer penetra uma distância de (6 ± 1) mm da placa base. O resultado é dado através da porcentagem da relação entre massa de água utilizada para a obtenção da consistência normal da pasta de cimento e a massa de cimento utilizada no ensaio.

4.4.2.6 Determinação da resistência à compressão

A resistência à compressão foi realizada conforme a NBR 7215 (ABNT, 1996). O método compreende a determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura.

4.4.3 Procedimentos Preliminares aplicados à FBC

A FBC foi medida e selecionada de acordo com a média mais freqüente em suas dimensões, buscando a fração mais adequada, ou seja, com menor porcentagem de medula residual, pois esta contém maior teor de açúcar residual, o que é indesejável por ser inibidor do tempo de pega e endurecimento do cimento. A fração foi escolhida por peneiramento (Composição Granulométrica).

Posteriormente, parte das amostras foi lavada em água corrente e colocada pra secar ao ar livre e, posteriormente, foi levada à estufa a 60° C por 24 h. Outra parte das amostras foi lavada em água corrente, depois fervida por 30 minutos, lavada novamente em água corrente, seca ao ar livre e levada à estufa por 60° C por 24 h. O objetivo do procedimento de lavagem das fibras é a diminuição do teor de açúcar residual e eliminar impurezas.

4.4.3.1 Determinação da composição granulométrica da FBC

Para determinação da composição granulométrica da FBC utilizou-se como referência a norma NBR NM 248:2001, da ABNT, para agregados. Como utilizado na caracterização da areia explicado no Item 5.4.1.

O procedimento de peneiramento foi realizado na fibra de bagaço para eliminação das partes mais finas da amostra, para obter uma homogeneização na amostra.

4.4.4 Determinação do teor de açúcar residual da FBC

A determinação do teor de açúcar residual da FBC foi realizada por ensaios de Polaridade pelas usinas que forneceram as amostras do bagaço de cana-de-açúcar para os ensaios desta pesquisa. As amostras tiveram seus teores de umidade, porcentagem de fibras, o Brix e o Pol aferidos nas três amostras, uma sem lavagem (oriunda diretamente da usina); a segunda com lavagem em água corrente e; a terceira após lavagem mais fervura por 30 min. e lavadas novamente em água corrente.

O Brix e o Pol foram determinados nas próprias usinas em que as amostras foram coletadas. Sólidos solúveis Totais (Brix em %) é a porcentagem, em gramas, de sólidos dissolvidos na água presente em um produto (cana-de-açúcar). A determinação do Brix é feita

a partir do caldo extraído da cana-de-açúcar efetuada em refratômetro digital, provido de correção automática de temperatura e ajuste de campo, com saída para impressora e/ou registro magnético, devendo o valor final ser expresso a 20°C.

A determinação do teor de sacarose (POL do caldo em porcentagem) é realizada após a clarificação do caldo com subacetato de chumbo (sal de Horne), utilizando-se para esta um aparelho denominado sacarímetro automático (ACATEC) modelo DAS 2500, com peso normal igual a 26g aferido a 20°C, provido de tubo polarimétrico de fluxo contínuo e com saída para impressora e/ou registro magnético. O funcionamento dos sacarímetros é baseado em princípios físicos, tomando como base as propriedades da luz e sua natureza ondulatória, determinando assim a concentração de açúcares opticamente ativos, do tipo sacarose. (ASSIS et al, 2004).

4.4.5 Tratamento químico da FBC

Após o procedimento de lavagem, as amostras de FBC receberam dois tipos diferentes de tratamento. No primeiro as FBC receberam tratamento químico a base de solução de silicato de sódio a 5% e solução de sulfato de alumínio a 30%, buscando: mineralizar as FBC, para sua proteção contra o meio alcalino encontrado na matriz cimentícia; imobilizar a matéria orgânica, diminuir a capacidade de absorção de água para que não ocorram variações dimensionais da FBC; reduzir as possíveis interferências da FBC nos tempos de pega e endurecimento do cimento; proporcionar melhores propriedades ao compósito obtido, tais como resistência ao fogo e ao ataque de microorganismos.



(a)



(b)



(c)



Figuras 4.2 – Sequência do processo de mineralização com produtos químicos; (a) Pesagem dos componentes químicos; (b) Solubilização; (c) Impregnação das fibras pela solução química; (d) Secagem das fibras ao ar livre; (e) Aparência após mineralização efetuada.

Fotos Janaina F. Silva

O processo de mineralização utilizado foi proposto por FORUNO et al (1991), modificado para atender as características da FBC. Assim, as FBC foram imersas em solução de silicato de sódio a 5% por 1 h; sendo retiradas, secas superficialmente e deixadas ao ar livre por 5 min. Posteriormente, as FBC já saturadas de silicato de sódio foram imersas em solução saturada de sulfato de alumínio a 30% por mais 1 h; retiradas, secas superficialmente mais uma vez e deixadas novamente ao ar livre por 5 min. Finalmente levadas para secagem controlada em estufa a 60° C por 24 h. Feito isso, esperou-se que as FBC resfriassem por 1 h, para serem acondicionadas em recipientes hermeticamente fechados. As Figuras 4.2 (a), (b), (c), (d) e (e) mostram a seqüência do processo de mineralização com produtos químicos.

O segundo tratamento foi realizado com calda de cimento. O processo foi proposto por Alves et al (2008). A mineralização das fibras foi feita com calda de cimento, relação de 10/1L de água e cimento, para que todo o conteúdo de fibras ficasse submerso foi necessária a adição de 40L de água para 4L de cimento. As fibras ficaram submersas na calda por um período de 24h, e expostas ao ar para que fossem secas naturalmente e em seguida armazenadas em embalagens plásticas até a incorporação a argamassa.

4.4.6 Determinação do diâmetro e comprimento da FBC

As dimensões da FBC foram determinadas com auxílio de lupa e de paquímetro. Foram realizadas 40 medições em três amostras diferentes para determinar o diâmetro e o comprimento das fibras. O índice de enfielamento, relação entre o comprimento e o

diâmetro, foi calculado, sendo possível revelar a maior ou menor capacidade de ancoragem da FBC/matriz de acordo com os valores encontrados (SARMIENTO, 1996).

4.4.7 Determinação do teor de umidade da FBC

A determinação do teor de umidade das FBC foi feita por pesagem de amostras secar ao ar e, posteriormente levadas a estufa a 70° C por 24 h e pesadas novamente. O teor de umidade foi calculado pela expressão:

$$h = \{(Pu - Ps) / Ps\} \times 100$$

Onde: h = teor de umidade, em porcentagem;

Pu = peso úmido da amostra, em g;

Ps = peso seco da amostra, em g.

4.4.8 Determinação da massa específica aparente da FBC

A massa específica foi determinada introduzindo-se uma quantidade de fibras, previamente pesada, no interior do tubo de ensaio contendo álcool, medindo-se, em seguida, o volume de álcool deslocado, que é igual ao volume de fibras introduzindo.

A substituição da água por álcool deve-se ao fato deste ter menor densidade que a água, evitando que o bagaço bóie na superfície do líquido.

Este ensaio deve ser executado com bastante rapidez, para evitar que as fibras absorvam o líquido e inchem, provocando variação volumétrica e, conseqüentemente, nos resultados. A substituição de água por álcool foi utilizada, justamente, para se evitar o inchamento da fibra pela água.

4.4.9 Determinação da massa unitária da FBC

A determinação da massa unitária foi realizada segundo a NBR 7251 (ABNT, 1982). O volume de material foi o dobro do volume do recipiente utilizado, próprio para agregado ou material com dimensão inferior a 4,8 mm. Preencheu-se o recipiente por meio de uma pá, lançando a FBC de uma altura de 10 cm do topo do recipiente, o recipiente foi rasado e pesado (recipiente + FBC). Calculou-se a massa unitária da FBC, dividindo a massa da FBC (kg) pelo volume do recipiente (dm³).

4.4.10 Ensaio de absorção de água aplicado à FBC

Uma certa quantidade de FBC secas, previamente pesadas, foi imersa em água, retirando-as após um determinado intervalo de tempo, enxugando-as superficialmente com pano úmido, e pesando-as logo em seguida em balança eletrônica de 0,01 g de precisão.

As pesagens foram feitas, inicialmente, após 1 min. de submersão; posteriormente após 5 min., 10 min. e 1 h; por fim, as amostras foram pesadas após 24 h de submersão.

O procedimento foi repetido por cinco vezes, sendo que cada repetição corresponde ao tipo de tratamento que a amostra de fibra recebeu.

A quantidade de água absorvida foi determinada pela diferença entre a pesagem da amostra seca e a pesagem após a submersão da FBC, devendo ser expressa em porcentagem.

4.4.11 Escolha dos traços para confecção dos corpos-de-prova

Foi utilizado o traço de 1:3, no fator cimento e areia, havendo-se variações na relação água:cimento, de acordo com a variação dos teores e tratamento de FBC adicionados, pois o teor de absorção de água varia de acordo com o tipo de tratamento recebido pela fibra. Quanto maior o teor de fibras maior será a relação a/c. Os teores de FBC a serem incorporados às argamassas de cimento são três, 0, 1,5 e 3,0%.

4.4.12 Moldagem dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova foram moldados em formas cilíndricas de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, tendo a norma NBR – 7215-90 da ABNT como parâmetro.

No preparo da argamassa acrescida de FBC com variações de 0, 1,5 e 3,0% houve também variações na quantidade de água da pasta de cimento de consistência normal, que foram definidas de acordo com os resultados de absorção de água pela amostra de FBC, além de buscar também a trabalhabilidade da argamassa.

Os componentes foram misturados com auxílio de argamassadeira de laboratório, sendo adicionado primeiro o cimento e a água, batendo por 1 min. em baixa rotação, depois se acrescentou a areia, batendo por mais 1 min. em baixa rotação, por último as fibras (FBC)

foram acrescentadas à mistura, batendo por 1 min. em baixa rotação e, pra finalizar, revirou-se a argamassa com auxílio de uma espátula e bateu por mais 2 min. em alta rotação.

Os moldes para os corpos-de-prova tiveram suas fendas vedadas com cera virgem e seu interior untado com óleo mineral desmoldante. Posteriormente foram preenchidos com a argamassa em quatro camadas, seguidas por 30 golpes uniformes de soquete entre a colocação de cada camada. As Figuras 4.3 (a), (b), (c), (d) e (e) mostram a seqüência do processo de moldagem dos corpos-de-prova.

Como o cimento utilizado foi o CP II – F32, o desmolde só foi possível 24 h depois. A cura dos corpos-de-prova foi realizada em câmara úmida.

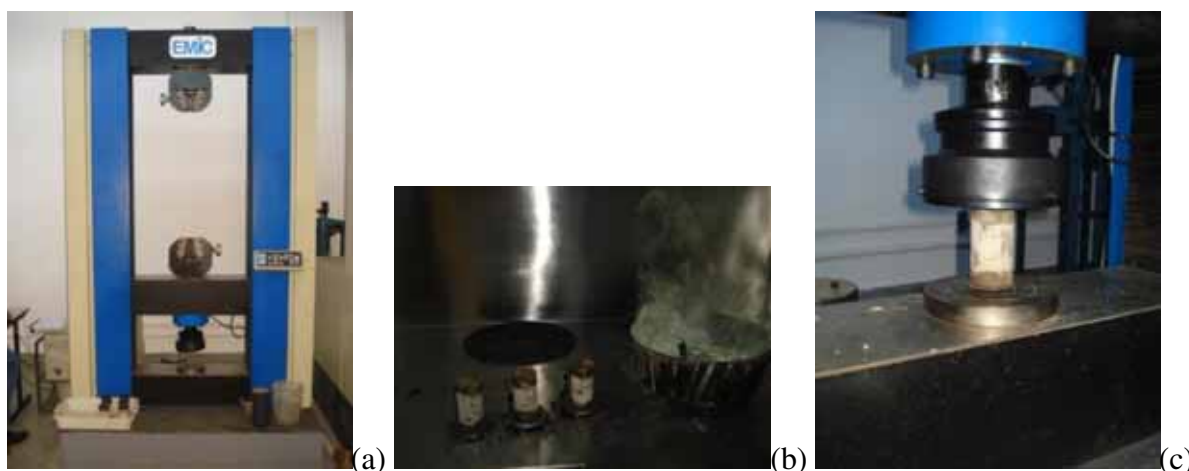


Figura 4.3 – Sequência do processo de moldagem dos corpos-de-prova; (a) Argamassadeira; (b) Mistura dos componentes sólidos; (c) Mistura da FBC; (d) Consistência final da argamassa; (e) Moldagem e compactação manual dos corpos-de-prova. Fotos: Janaina F. Silva

4.4.13 Ensaios de compressão

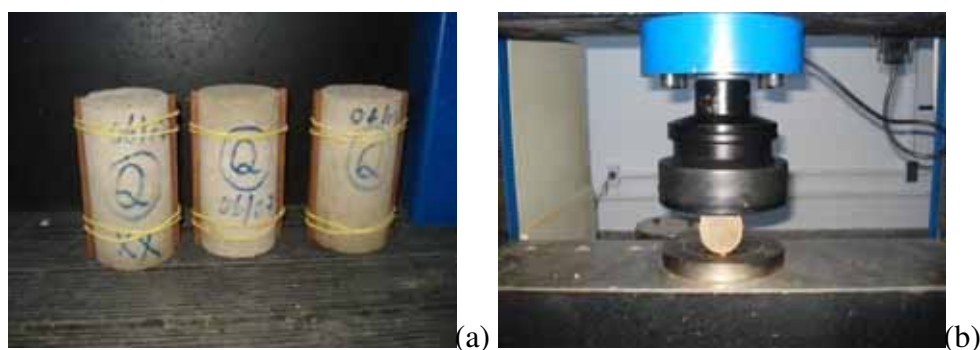
Os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de compressão simples. Para tal foi utilizada máquina universal de ensaios, marca Emic DL30000N, célula Trd 29 e programa de controle Tesc versão 1.13. A força máxima média utilizada foi de 2228 Kgf, com uma resistência média de 11,13 MPa. O ensaio seguiu o mesmo procedimento utilizado por Sarmiento (1996) e as determinações da norma NBR – 7215-90 da ABNT. Sendo que os corpos-de-prova foram capeados com uma mistura de enxofre a quente, posteriormente rompidos aos 7 e 28 dias de idade, como mostram as Figuras 4.4 (a), (b) e (c).

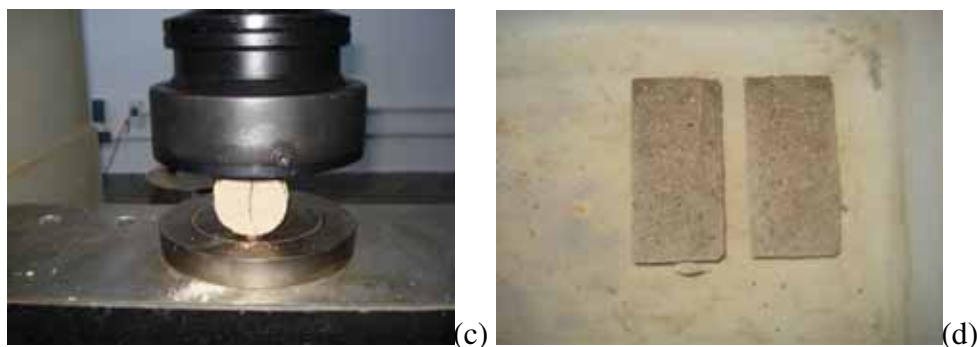
A resistência à compressão simples foi calculada individualmente para cada cp (dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do cp), sendo que a resistência média foi obtida pela média aritmética das resistências individuais de quatro cp com a mesma idade.



Figuras 4.4 – Sequência do ensaio a compressão: (a) Prensa; (b) Capeamento com enxofre; (c) Ruptura do corpo-de-prova. Foto: Janaina Silva

4.4.14 Ensaios de tração na compressão diametral





Figuras 4.5 – Sequência do ensaio de tração na compressão diametral: (a) Preparo dos corpos-de-prova; (b) Aplicação de carga; (c) Ruptura do corpo-de-prova; (d) Corpo-de-prova rompido. Foto: Janaina F. Silva

As Figuras 4.5 (a), (b), (c) e (d) mostram os corpos-de-prova cilíndricos, moldados da mesma maneira acima relatado, submetidos ao ensaio de compressão diametral, seguindo o método Lobo Carneiro, ou “método brasileiro”. A tensão principal de tração, distribuída no plano diametral e normal ao plano da seção, será dada por:

$$F_t = 2P/\pi * D * L$$

Onde: F_t = resistência à tração (MPa)

P = carga linear aplicada (N)

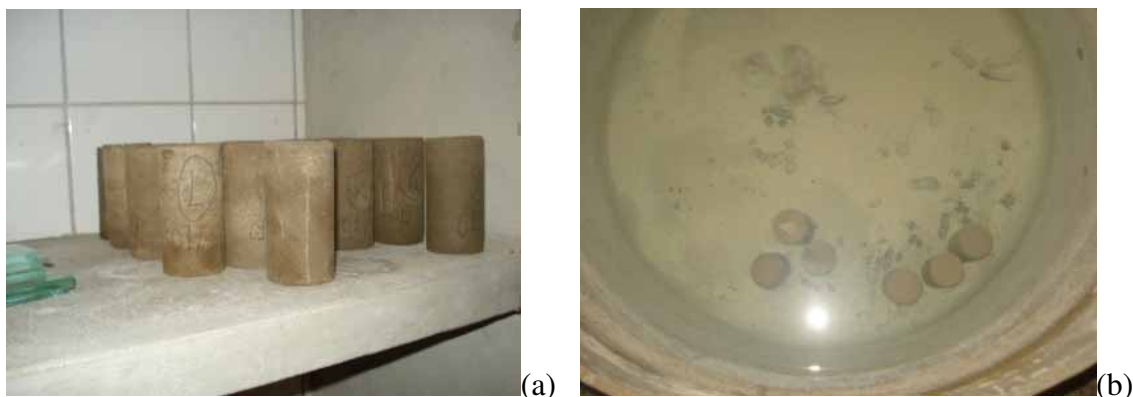
D = diâmetro do corpo-de-prova (mm)

L = comprimento do corpo-de-prova (mm)

4.4.15 Ensaios de absorção de água

O ensaio foi realizado de acordo com a norma D 1037-72, da ASTM. Foram utilizados cp cilíndricos (5 cmØx10 cm) de amostras retiradas dos blocos moldados com argamassa de cimento e FBC.

As Figuras 4.6 (a) e (b) mostram os cps em cura úmida que, posteriormente, foram pesados e submersos em água por 2 h. Ao serem retirados, foram postos para secar por 10 min. e em seguida pesados. Novamente foram submersos em água por mais 22 h, completando 24 h de saturamento, retirados e colocados para secar por 10 min. Os cp foram então pesados e este último valor obtido será o incremento causado pela absorção de água e será expresso em porcentagem.



Figuras 4.6 – (a) Corpos-de-prova em cura em câmara úmida; (b) Corpos-de-prova submersos em tanque d'água antes da pesagem. Foto: Janaina F. Silva

4.4.16 Escolha do melhor tratamento

As possíveis variações no tratamento da FBC estão apresentadas abaixo e, dentre elas foram escolhidos os compósitos que apresentaram melhores resultados nos ensaios com os corpos-de-prova.

- Não lavagem (FBC natural);
- Lavagem;
- Lavagem + acelerador na mistura;
- Lavagem + mineralização (silicato de sódio e sulfato de alumínio);
- Lavagem + mineralização + lavagem;
- Lavagem + mineralização + lavagem + acelerador;
- Lavagem + mineralização + acelerador

CAPÍTULO 5

APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Foi realizada uma ampla coleta de informações sobre a produção da cana-de-açúcar no Estado de Goiás e região Centro-Sul do país, juntamente com o bagaço e a cinza da cana, abordando diversos aspectos referentes ao processo de obtenção, propriedades e uso do material em questão, a CBC.

5.1. CARACTERIZAÇÃO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO

A produção total de açúcar estimada para 2008/09 foi de “32,1 milhões de toneladas e representa um acréscimo em relação à safra passada de 2,6%. Para a produção de álcool os números indicam um volume de produção da ordem de 26,6 bilhões de litros, com um expressivo aumento na produção nacional de 15,7%” (CONAB - 3º Levantamento: Dezembro de 2008).

“O consumo do açúcar tem um padrão estável e modesto de crescimento, enquanto o álcool etílico, por suas notáveis qualidades como combustível automotor, ocupa espaços crescentes como um produto de fonte limpa e renovável, capaz de substituir seu congênere de origem fóssil, a gasolina. Tal crescimento, tanto no mercado doméstico como no internacional, vem transformando este produto em um novo combustível de padrão universal”, (CONAB - 3º Levantamento: Dezembro de 2008).

Em consequência desta tendência, a destinação da cana-de-açúcar para a fabricação de álcool se tornou crescentemente majoritária nas unidades de produção na safra 2008/09. Na safra anterior, a participação da cana destinada para a produção de álcool estava em 54,03% (45,97% para o açúcar) e, na safra 2008/09, esta proporção foi estimada em 56,9% (43,1% para o açúcar). Da mesma forma, a crescente participação dos veículos tipo ‘flex-fuel’ na frota automotiva brasileira de veículos leves, que já tem mais de 7 milhões de veículos em circulação está impulsionando o consumo do álcool etílico hidratado, em substituição à gasolina e ao álcool anidro, (CONAB - 3º Levantamento: Dezembro de 2008), Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Cana-de-açúcar – Estimativa de Produção e Destinação (Safrá 2008) (CONAB, 2008)

REGIÃO / UF	INDÚSTRIA CUCROALCOOLEIRA		
	TOTAL	AÇÚCAR	ÁLCOOL
NORTE	1.348,6	494,3	854,3
AM	314,0	172,7	141,3
PA	749,6	321,6	428,0
TO	285,0	-	285,0
NORDESTE	67.868,0	39.707,1	28.160,9
MA	2.385,0	186,0	2.199,0
PI	900,9	540,5	360,4
CE	111,5	-	111,5
RN	3.075,0	2.075,6	999,4
PB	6.117,0	1.627,1	4.489,9
PE	20.418,1	13.473,9	6.944,2
AL	29.864,3	19.889,4	9.974,9
SE	2.306,2	942,5	1363,7
BA	2.690,0	972,1	1.717,9
CENTRO-OESTE	66.510,1	19.798,1	46.712,0
MT	16.109,9	3.818,0	12.291,9
MS	20.755,0	7.679,4	13.075,7
GO	29.645,2	8.300,7	21.344,5
SUDESTE	392.605,7	167.208,5	225.397,2
MG	44.120,0	20.114,8	24.005,2
ES	4.419,0	848,4	3.570,6
RJ	3.556,3	2.222,7	1.333,6
SP	340.510,4	144.022,5	196.487,9
SUL	43.038,3	18.829,2	24.209,1
PR	42.918,3	18.829,2	24.089,1
RS	120,0	-	120,0
NORTE/NORDESTE	69.216,6	40.201,4	29.015,2
CENTRO-SUL	502.154,1	205.835,8	296.318,3
BRASIL	571.370,7	246.037,1	325.333,5

No entanto, com as mudanças econômicas ocorridas nos últimos meses, a produção tem sofrido alterações de destinação que “em face de todas estas circunstâncias, que poderão ter forte influência no volume final da safra de cana-de-açúcar e da produção de açúcar e álcool” (...) assim, foi detectado “maior destinação proporcional da cana para a fabricação de açúcar, em detrimento do álcool. Esta decisão, que pode ser tomada pelas unidades de produção mistas e capazes de produzir açúcar e/ou álcool, está associada à melhor remuneração que o açúcar deverá proporcionar nesta safra. Vale observar, entretanto, que a produção de álcool também estará crescendo e, certamente, o volume disponível será suficiente para garantir a regularidade do abastecimento doméstico e as exportações” (CONAB - 1º Levantamento: Abril de 2009), Tabela 5.2.

“O Primeiro prognóstico da produção de cana-de-açúcar para a nova safra que está se iniciando, indica que o volume total a ser processado pelo setor sucroalcooleiro, deverá atingir um montante entre 622,0 e 633,7 milhões de toneladas. Este volume representa um aumento de 8,6% a 10,7% do obtido na safra passada, ou seja, uma quantidade de 49,4 a 61,1 milhões de toneladas adicionais do produto.

Para a região Centro-Sul, que inclui os Estados da região Sudeste, Sul e Centro-Oeste, cuja participação está próxima de 90,0% do total nacional, os resultados indicam um aumento de 10,1% a 12,3% no volume da cana a ser processada. Desse total, foi estimado, que 44,7% será destinado à fabricação de açúcar e 55,3% à produção de álcool, em relação ao ponto médio”.

“O desempenho dos estados revela que na região Centro-Sul, o crescimento da produção ocorre em praticamente todos os Estados, com destaque para os Estados de Goiás com acréscimo de 47,3%, seguido de Mato Grosso do Sul (28,7%), Paraná (20,2%) e Minas Gerais com 14,9%. Esse resultado deve-se a entrada nesta safra, de 25 novas usinas no sistema produtivo”, (CONAB - 1º Levantamento: Abril de 2009).

Tabela 5.2 – Cana-de-açúcar – Estimativa de Produção e Destinação para Indústria Sucroalcooleira (Safra 2009)
(CONAB 2009)

REGIÃO / UF	TOTAL		CANHA P/ AÇÚCAR		CANHA P/ ALCOOL	
	Lim. Inf.	Lim. Sup.	Lim. Inf.	Lim. Sup.	Lim. Inf.	Lim. Sup.
NORTE	1.407,7	1.465,1	476,7	496,2	930,9	968,9
RO	70,4	73,3	-	-	70,4	73,3
AM	323,4	336,6	161,6	168,2	161,8	168,4
PA	734,6	764,6	315,1	328,0	419,5	436,6
TO	279,3	290,7	-	-	279,3	290,7
NORDESTE	62.898,1	63.269,7	35.923,4	36.054,0	26.974,7	27.215,6
MA	2.221,9	2.312,5	170,6	177,6	2.051,2	2.134,9
PI	937,9	975,2	562,2	585,1	374,8	390,1
CE	82,4	82,4	-	-	82,4	82,4
RN	3.332,0	3.468,0	1.880,9	1.957,7	1.451,1	1.510,3
PB	6.117,0	6.117,0	1.765,4	1.765,4	4.351,6	4.351,6
PE	18.496,5	18.496,5	12.141,1	12.141,1	6.355,4	6.355,4
AL	26.769,8	26.769,8	17.837,4	17.837,4	8.932,4	8.932,4
SE	2.327,9	2.327,9	977,7	977,7	1.350,2	1.350,2
BA	2.613,7	2.720,3	588,1	612,1	2.025,6	2.108,3
CENTRO-OESTE	85.291,0	87.014,0	24.030,2	24.515,7	61.260,8	62.498,4
MT	14.912,5	15.213,7	3.637,2	3.710,6	11.275,3	11.503,1
MS	26.721,2	27.261,0	8.155,5	8.320,3	18.565,6	18.940,7
GO	43.657,4	44.539,3	12.237,5	12.484,7	31.419,8	32.054,6
SUDESTE	419.195,8	427.664,4	192.432,9	196.320,5	226.762,9	231.344,0
MG	50.813,7	51.840,3	21.446,7	21.879,9	29.367,0	29.960,3
ES	4.449,1	4.539,0	757,2	772,5	3.691,9	3.766,5
RJ	3.520,7	3.591,9	2.200,5	2.244,9	1.320,3	1.346,9
SP	360.412,3	367.693,3	168.028,6	171.423,1	192.383,7	196.270,2
SUL	53.238,7	54.314,2	25.528,5	26.044,2	27.710,2	28.270,0
PR	53.119,9	54.193,0	25.528,5	26.044,2	27.591,4	28.148,8
RS	118,8	121,2	-	-	118,8	121,2
NORTE/NORDESTE	64.305,8	64.734,8	36.400,1	36.550,3	27.905,7	28.184,6
CENTRO-SUL	557.725,5	568.992,7	241.991,6	246.880,3	315.733,9	322.112,4
BRASIL	622.031,2	633.727,5	278.391,7	283.430,5	343.639,6	350.296,9

5.1.1 Processo de produção nas usinas

A colheita na Usina A é 90% mecanizada e 10% manual, na Usina B a colheita é 90% manual e 10% mecanizada e na Usina C, 50% mecanizada e 50% manual. Antes de se iniciar o processo de produção, a cana passa por processo de lavagem para serem removidas as impurezas, Figuras 6.1 (a) e (b). Geralmente a água utilizada na lavagem é de reaproveitamento. Posteriormente, toda matéria prima segue para um “picador”. Na sequência, segue para o desfibrilador, onde as células da cana-de-açúcar são abertas para melhor aproveitamento de seu caldo, pois 70% dela é bagaço e apenas 30% é líquido aproveitado pela indústria sucroalcooleira.



Figuras 5.1 – (a) Descarregamento da cana-de-açúcar; (b) Lavagem para remoção das impurezas. Fotos: Janaina F. Silva

O processo de moagem é, então, iniciado. Na Usina A, uma das usinas visitadas, a extração do caldo ocorre, simultaneamente, por meio da moagem e lavagem do bagaço, que passa por cinco ternos de moagem, durante quatro horas. Na Usina B, ocorrem quatro ternos de moagem. Quanto mais ternos, melhor é o aproveitamento do caldo. No caso da usina com quatro ternos, parte do açúcar é descartada junto com o bagaço, fazendo com que a produtividade da usina seja menor e a qualidade da FBC como reforço a matrizes cimentícias, provavelmente também seja inferior, devido a maior presença de açúcar residual, que pode interferir e até inibir o tempo de pega do cimento.

A energia motriz que gira as moendas é obtida por meio de vapor oriundo da queima do bagaço da própria cana-de-açúcar, sendo que as rotações em cada terno são controladas de acordo com a necessidade. A quantidade de água varia em cada terno, sendo que a quantidade de líquido agregado ao bagaço vai diminuindo. Quando chega o último terno o bagaço está praticamente seco.

Depois do processo de extração do caldo o mesmo é coado em filtro antes de seguir às caldeiras de fermentação e parte do bagaço segue por esteiras, diretamente para as caldeiras, onde é queimado para produção de energia elétrica. A outra parte do bagaço segue para local específico onde é armazenado para a queima no período da entressafra.

Quando ocorre o início da safra a caldeira inicia sua queima com o uso de lenha e cavaco e, logo em seguida, é inserido o bagaço de cana-de-açúcar para continuidade do processo de queima.

O bagaço é armazenado ao ar livre no pátio das Usinas, onde fica aguardando para ser carregado aos caminhões, quando o fim proposto é a comercialização com outras indústrias que o utilizam como material combustível para a produção de energia, ou segue para a caldeira da própria usina. A Usina A, que comercializa o crédito de carbono, quando ocorre a falta do bagaço na sua empresa, compra-se de outras usinas da região, pois o excedente de energia é vendido para concessionárias do Estado de Goiás.

O caldo segue para os tanques de decantação, onde são eliminadas as impurezas e inicia-se o processo de fermentação para produção do álcool e do açúcar. O volume de impurezas que segue para os tanques de decantação, provenientes do corte, pode chegar a 10 ou 12% do volume total de cana moída no processo industrial, dependendo do método de corte utilizado pela usina.

A queima do bagaço na Usina A é controlada por computadores, via operador. A quantidade de vapor depende da quantidade de energia elétrica e motriz exigida no processo produtivo. Algumas indústrias vendem o excedente de energia elétrica produzida às concessionárias de eletricidade. A queima do bagaço na Usina A ocorre a uma temperatura entorno de 800° C, na Usina B em torno de 350° C.

De modo geral, após a queima do bagaço, a “fumaça” gerada segue para um lavador de gases que retira a cinza produzida na combustão antes de ser liberada para atmosfera.

Como a Usina A vende crédito de carbono, a fumaça produzida durante a queima segue para um lavador de gases de última geração, chamado “scrubber”, onde existem filtros que retém o CO₂, passando apenas o vapor quente para o meio ambiente. O bagaço queimado é transformado em cinza, que é retirada no filtro e, depois, por decantação, é retirada por vácuo e a cinza é encaminhada para a compostagem. O CO₂ que não é emitido para o meio, é vendido, pela Usina A, para uma empresa Holandesa através de créditos de carbono negociados em bolsa de valores. Já na Usina B, a cinza retirada do lavador de gases é

misturada aos restos de bagaço que se acumulam dentro das caldeiras e são retirados através de uma grelha existente no fundo destas caldeiras.

Cerca de 27% da cana-de-açúcar transforma-se em bagaço dos quais 8,5% não são queimados e sobram para serem vendidos. Atualmente o preço do bagaço está por volta de R\$30,00/tonelada e da cana é R\$33,00/tonelada. As cinzas das respectivas usinas são aproveitadas 100% na lavoura de cana-de-açúcar. De acordo com a FAEG, 2007, o uso de restos industriais da Usina de cana-de-açúcar como adubo ou insumo nas lavouras, sem devido estudo ambiental, deve ser evitado, para eliminar impactos que esses materiais podem gerar nas áreas objeto de cessão (CORDEIRO, 2006).

A queima de bagaço de cana gera como principais poluentes: material particulado (MP), monóxido e dióxido de carbono e óxidos de nitrogênio. O MP está associado ao residual de cinzas, fuligens e outros materiais. Provoca efeitos estéticos indesejáveis em virtude de sua cor escura e causa incômodos ao bem estar público por sua precipitação nas residências. Sua fração inalável penetra nos pulmões e diminui a capacidade respiratória (ANDRADE; DINIZ, 2007).

5.2 PROCEDIMENTOS PRELIMINARES APLICADOS À FBC

As amostras de FBC foram submetidas ao ensaio de Composição Granulométrica apresentando o resultado na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Composição Granulométrica da FBC

Malha Peneira	Série	Material retido (%)
9,52 mm	Normal (ABNT – 3,8’')	8,73
6,30 mm	Intermediária (ASTM – ¼’')	15,58
4,75 mm	Normal (ASTM – 4)	14,35
2,38 mm	Normal (ABNT – 8)	23,86
1,18 mm	Normal (ASTM – 16)	18,16
600 µm	Normal (ASTM – 30)	11,86
300 µm	Normal (ASTM – 50)	4,20
Fundo	-	3,26

Analisando-se os resultados, observa-se que a maior parte das fibras, em torno de 72%, está compreendida entre as peneiras 6,30 mm e 1,18 mm. Com isso, a porção

selecionada para os procedimentos e ensaios são as fibras passantes na peneira 6,30 mm e retidas nas peneiras 4,75mm, 2,38 mm e 1,18 mm, somando uma porção de 56,37%. Aggarwal, (1995) em seu estudo, classificou apenas partículas retidas nas malhas 2,36 mm; 1,18 mm, 600 μ m e 150 μ m, com resultados respectivos de 1-2%, 50-55%, 36-40% e 9-10%, o que mostra que a amostra utilizada por ele foram mais particuladas e conseqüentemente, apresenta uma maior quantidade de medula residual. Para a presente pesquisa, interessam fibras mais longas e a menor quantidade de medula residual possível.

5.3 TEOR DE AÇÚCAR RESIDUAL DA FBC

Os resultados das análises de teor de açúcar residual apresentados pelas usinas que cederam as amostras de bagaço evidenciam que a porcentagem de Brix e Pol, as unidades que determinam a quantidade de sacarose presente nas amostras, variou consideravelmente após a lavagem simples em água corrente, ver Tabelas 5.4 e 5.5. O resultado após a fervura foi ainda melhor, mas para considerações mais específicas sobre a real necessidade deste procedimento, só poderá ser determinada após avaliação dos resultados dos ensaios de compressão e tração na compressão diametral. Os resultados encontrados nesta pesquisa confirmam os apresentados por Sarmiento e Freire, (1997), em seu experimento com amostras de FBC, onde o pré-tratamento que apresentou resultados mais significativos na eliminação do açúcar residual foi a lavagem com água. Aqui, foi acrescido mais um procedimento, a fervura do bagaço por 30 min.

Tabela 5.4 – Teor de açúcar residual (Laboratório de Análises da Usina Jalles Machado S.A.)

RESULTADOS DAS AMOSTRAS DE BAGAÇO				
AMOSTRA	BRIX %	POL %	UMIDADE %	FIBRA %
Normal	4,34	2,99	51,2	44,46
Lavado	0,23	0,16	48,8	50,97
Lavado e Fervido	0,16	0,11	51,55	48,29

Como o Pol é a porcentagem em massa de sacarose aparente contida em uma solução açucarada de peso normal e o Brix é a porcentagem em massa de sólidos solúveis

contidos em uma solução de sacarose quimicamente pura, é interessante o cálculo dessas variáveis para informações sobre a quantidade de açúcar presente na amostra de bagaço.

Tabela 5.5 – Teor de açúcar residual (Laboratório de Análises da Usina Cetroalcool.)

Amostra S/ Lavagem	Unidade	Resultados
Peso amostra úmida	g	736,26
Peso amostra seca	g	708,75
Umidade	%	55,02
Leitura da Pol		1,74
Fibra	%	38,49
Brix do bagaço	%	6,49
Pol do bagaço	%	4,8
Pureza do caldo residual	%	74,00
Amostra Lavada	Unidade	Resultados
Peso amostra úmida	g	736,19
Peso amostra seca	g	694,06
Umidade	%	84,26
Leitura da Pol		0,15
Fibra	%	15,17
Brix do bagaço	%	0,57
Pol do bagaço	%	0,42
Pureza do caldo residual	%	74,00
Amostra Fervida + Lavada	Unidade	Resultados
Peso amostra úmida	g	716,63
Peso amostra seca	g	675,69
Umidade	%	85,88
Leitura da pol		0,06
Fibra	%	13,89
Brix do bagaço	%	0,23
Pol do bagaço	%	0,17
Pureza do caldo residual	%	74,00

5.4 TRATAMENTO QUÍMICO DA FBC

Tanto o tratamento químico proposto por FORUNO et. al. (1991), e modificado para atender as especificações da FBC, quanto o tratamento com calda de cimento proposto por Alves et al (2008), mostraram-se eficientes do ponto de vista da mineralização, pois todas as amostras submetidas a tais tratamentos permitiram que o compósito curasse no tempo esperado. Porém as vantagens do ponto de vista de melhoras mecânicas só poderão ser avaliadas após a análise dos resultados dos ensaios de compressão e absorção de água.

A avaliação de envelhecimento das amostras e das fibras no interior da matriz cimentícia não foi realizada nesta pesquisa.

Do ponto de vista da praticidade de execução no trabalho de campo, ou seja, na execução da mineralização, o tratamento com a nata de cimento se mostrou mais eficiente, rápido e fácil de se executar. Uma vez que o tratamento químico é mais lento, requer maior especialização de mão-de-obra para sua execução e o gasto de matéria-prima, neste caso os produtos químicos, é maior e mais caro. Por isso, no caso de uma produção em grande escala, deve-se avaliar o custo/benefício de produção relativo aos resultados alcançados.

5.5 DIÂMETRO E COMPRIMENTO DA FBC

As medições foram feitas em 3 (três) amostras com 40 (quarenta) exemplares colhidos aleatoriamente em cada uma delas. Os resultados obtidos estão na Tabela 5.6.

Os resultados das medições levam a uma média aritmética de 1,90 cm de comprimento por 0,02 cm de diâmetro na amostra 1, 2,08 cm de comprimento e 0,02 cm de diâmetro na amostra 2 e 1,92 cm de comprimento por 0,05 cm de diâmetro na amostra 3.

Com isso o índice de enfeitramento é dado pela seguinte fórmula:

$$IE = C/\varnothing$$

Onde: IE = índice de enfeitramento

C = comprimento da FBC

$\varnothing$ = diâmetro da FBC

Sendo assim, o índice de enfeitramento médio na amostra 1 é de 95, na amostra 2 é de 104 e na amostra 3 é de 38,4. Isso dá uma média aritmética de 79,13, valor compatível ao apresentado por Sarmiento,(1996), que foi um índice de enfeitramento igual a 73,64.

...Continuação								
Amostra 1	Comp. (cm)	Diâmetro (cm)	Amostra 2	Comp. (cm)	Diâmetro (cm)	Amostra 3	Comp. (cm)	Diâmetro (cm)
30	1,54	0,02	30	1,50	0,02	30	1,30	0,05
31	1,14	0,02	31	3,93	0,02	31	1,14	0,05
32	2,59	0,02	32	2,85	0,02	32	2,63	0,05
33	1,13	0,02	33	3,11	0,02	33	1,75	0,05
34	0,84	0,02	34	1,32	0,02	34	1,30	0,05
35	0,60	0,02	35	1,11	0,02	35	1,77	0,05
36	0,99	0,02	36	1,47	0,02	36	1,26	0,05
37	1,17	0,02	37	2,47	0,02	37	2,60	0,05
38	2,25	0,02	38	0,90	0,02	38	3,29	0,05
39	1,92	0,02	39	1,11	0,02	39	3,46	0,05
40	1,74	0,02	40	2,76	0,02	40	2,29	0,05

5.6 TEOR DE UMIDADE DA FBC

$$h = \{(Pu-Ps)/Ps\} \times 100$$

$$h = \{(350-225)/225\} \times 100$$

$$h = 55,55\%$$

O teor de umidade variou de acordo com a amostra avaliada, sendo que a amostra da FBC sem nenhum tipo de procedimento de lavagem apresentou um teor de 55,02 a 55,55%; já a amostra de FBC lavada em água corrente apresentou teor de umidade de 84,26%; e a amostra lavada em água corrente, fervida por 30 min. e lavada em água corrente apresentou teor de umidade de 85,88%. A diferença entre as amostras após os procedimentos de lavagem e a FBC sem lavagem ocorreu devido ao fato desta amostra ter sido avaliada nas mesmas condições ao ser retirada da esteira do processo produtivo, já as amostras de FBC após os procedimentos de lavagem, absorveram e agregaram água à sua massa. Porém, para os procedimentos desta pesquisa, este teor de umidade encontrado não acarretará alterações na dosagem dos traços de argamassa e concreto a serem testados, pois todas as amostras foram levadas para secagem em estufa, eliminando-se, assim, o teor de umidade apresentado.

5.7 MASSA ESPECÍFICA APARENTE DA FBC

A massa específica foi determinada introduzindo-se uma quantidade de FBC (20 g), previamente pesadas, no interior de um tubo de ensaio contendo álcool (500 ml), fazendo-se a medição posterior do volume de álcool deslocado (560 ml), que deverá corresponder ao volume de fibras introduzido. Sendo assim, a Massa Específica por Volume deslocado em Álcool deve ser calculado por:

$$\text{Massa FBC} = 20 \text{ g}$$

$$\text{Volume álcool} = 500 \text{ ml}$$

$$\text{Volume deslocado pelo álcool+FBC} = 560 \text{ ml}$$

$$\text{ME} = \text{M FBC} / \text{V deslocado} > \text{ME} = 20\text{g}/60 \text{ cm}^3 > \text{ME} = 0,33(\text{g}/\text{cm}^3)$$

$$\text{ME} = 330 \text{ kg}/\text{m}^3$$

O valor encontrado da massa específica desta pesquisa, 330 kg/m³, está dentro dos padrões de Aziz et al (1986), como citado por Sarmiento (1996), entre 300 – 400 kg/m³. A massa específica exclui os poros permeáveis e a massa unitária os inclui no cálculo.

5.8 MASSA UNITÁRIA DA FBC

A massa unitária da FBC seca e solta foi determinada em três repetições, onde o volume de material equivalente a 14,92 dm³ apresentou massa equivalente a 800 g, sendo assim:

$$\text{MU} = \text{m}/\text{V} \text{ onde}$$

$$\text{MU} = \text{massa unitária}$$

$$\text{V} = \text{volume}$$

$$\text{m} = \text{massa do material}$$

Sendo assim, tem-se:

$$\text{V} = 14,92 \text{ dm}^3$$

$$\text{m} = 800 \text{ g}$$

$$14,92/0,800 \text{ kg} = 0,053$$

Todas as repetições deram o mesmo resultado.

5.9 ABSORÇÃO DE ÁGUA PELA FBC

Amostras de FBC seca e previamente pesada (30 g e 20 g) foram imersas em água. Posteriormente retirada e secas apenas superficialmente e imediatamente pesadas em balança eletrônica de precisão 0,01 g. Os resultados obtidos estão na Tabela 6.8.

Onde a absorção é dada por: $Abs = \{(Pf-Pi)/Pi\} \times 100$

Pi = Peso inicial

Pf = Peso final

Abs = Absorção (%)

Analisando os resultados, Figura 5.2, pode-se constatar que o melhor tratamento, do ponto de vista da diminuição na absorção de água, foram aqueles que utilizaram produto químico e nata de cimento, antecidos pelo processo de lavagem em água corrente mais fervura por 30 min.

Tabela 5.7 – Absorção de água pela FBC. Laboratório Materiais de Construção – UCG

Tempo Amostra	1 min.	5 min.	10 min.	1 hora	24 horas
FBC Fervida + Nata Cimento	Pi = 20g Pf = 41,83g Abs=109,15%	Pi = 20g Pf = 53,32g Abs=166,60%	Pi = 20g Pf = 50,46g Abs=152,30%	Pi = 20g Pf = 51,66g Abs=158,30%	Pi = 30g Pf = 71,75g Abs=139,16%
FBC Lavada + Nata Cimento	Pi = 20g Pf = 47,85g Abs=139,25%	Pi = 20g Pf = 48,55g Abs=142,75%	Pi = 20g Pf = 53,24g Abs=166,20%	Pi = 20g Pf = 51,55g Abs=157,75%	Pi = 30g Pf = 85,50g Abs=185,00%
FBC Lavada + Prod. Químico	Pi = 20g Pf = 55,46g Abs=177,30%	Pi = 20g Pf = 50,26g Abs=151,30%	Pi = 20g Pf = 52,78g Abs=163,90%	Pi = 20g Pf = 58,83g Abs=194,15%	Pi = 30g Pf = 92,04g Abs=206,80%
FBC Fervida + Prod. Químico	Pi = 20g Pf = 44,15g Abs=120,75%	Pi = 20g Pf = 43,11g Abs=115,55%	Pi = 20g Pf = 59,81g Abs=199,05%	Pi = 20g Pf = 46,56g Abs=132,80%	Pi = 30g Pf = 76,74g Abs=155,80%
FBC Lavada + Fervida	Pi = 20g Pf = 66,84g Abs=234,20%	Pi = 20g Pf = 84,68g Abs=323,40%	Pi = 20g Pf = 83,77g Abs=318,85%	Pi = 20g Pf = 81,73g Abs=308,65%	Pi = 30g Pf = 211,67g Abs=605,56%

O tratamento que menos trouxe efeitos para diminuição na absorção de água foi o processo de lavagem em água corrente mais fervura, sem nenhum outro tratamento adicional.

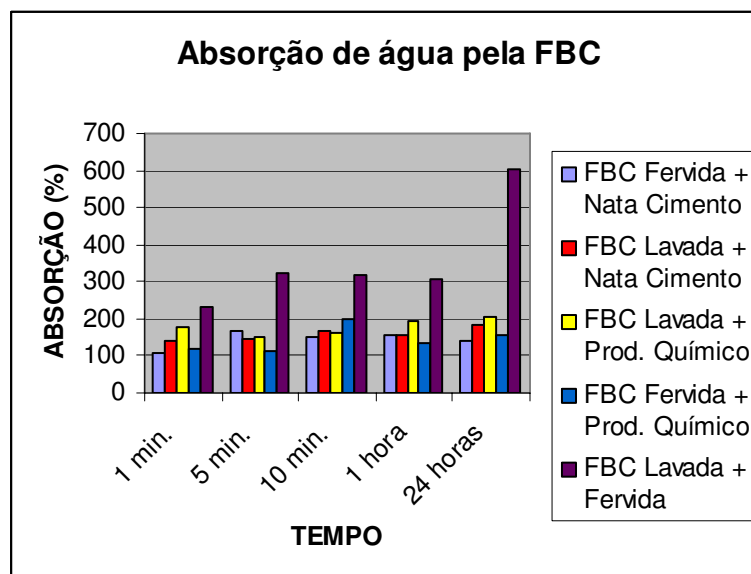


Figura 5.2 – Gráfico comparativo de absorção de água pelas fibras de bagaço de cana-de-açúcar de acordo com o tratamento.

5.10 ESCOLHA DO TRAÇO PARA CONFECCÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

O traço escolhido para moldagem dos corpos-de-prova de argamassa foi 1:0,004:3,7:0,57 de cimento:FBC:areia:água, sendo que o teor de FBC varia em três – zero (cps de referência); 1,5% (0,004) e; 3,0% (0,008).

5.11 RESULTADOS DA MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA

Os corpos-de-prova foram moldados seguindo o seguinte fator de variação: 5 tratamentos x 1 traço x 2 idades x 3 teores x 3 ensaios x 3 repetições (5x1x2x3x3x3); o que gerou a necessidade de moldagem de 270 corpos-de-prova de argamassa cilíndricos de 10 cm de altura por 5cm de diâmetro.

Os 5 tratamentos são:

- Lavagem + fervura 30min.;
- Lavagem + Fervura 30min. + Nata Cimento;
- Lavagem + Fervura 30min. + Prod. Químico;
- Lavagem + Nata Cimento;
- Lavagem + Prod. Químico.

O traço de cimento:areia escolhido foi o de 1:3. As idades de cura são 7 dias e 28 dias. Os 3 teores de FBC são 0,00%, 1,5% e 3,0%. Os 3 (três) ensaios são Compressão Simples, Compressão na tração Diametral e Absorção de Água, com 3 (três) repetições para cada ensaio. A relação A/C é de 0,57 mais uma compensação da água absorvida pelo bagaço que variou de acordo com o teor de bagaço; sendo 0,006 para as amostras A e B; 0,013 para C e D; 0,0064 para E e F; 0,02 para G e H; 0,0078 para I e J; 0,0155 para K e L; 0,005 para M e N; 0,011 para O e P; 0,012 para Q e R; 0,024 para S e T; as amostras U, V, X e Z não receberam compensação de água por serem as amostras de referência e não levarem bagaço em sua composição.

5.12 ENSAIOS DE COMPRESSÃO

Os ensaios de compressão simples apresentaram resultados na Tabela 5.8.

Dividiram-se os CP referência em dois tipos de cura: úmida e cura no tanque, todos os outros CPs com FBC foram curados em cura úmida.

Os resultados dos ensaios mostram que os corpos-de-prova com FBC lavadas em água corrente, fervidas por 30 min. e tratada com produtos químicos, adicionadas a um teor de 3,0%, tiveram o melhor desempenho na resistência à compressão simples.

Tabela 5.8 – Ensaio de Compressão simples. Laboratório Materiais de Construção – UCG

AMOSTRA	DESCRIÇÃO			COMPRESSÃO SIMPLES	
	TRATAMENTO	TEOR FBC (%)	IDADE	FORÇA (Kgf)	TENSÃO (MPa)
CP1 – U	REFERENCIA – CURA CÂMARA ÚMIDA	0,00	07 DIAS	2963,53	14,80
CP2 – U	REFERENCIA – CURA CÂMARA ÚMIDA	0,00	07 DIAS	3075,94	15,40
CP3 – U	REFERENCIA – CURA CÂMARA ÚMIDA	0,00	07 DIAS	32378,27	16,40
MÉDIA				3092,25	15,53
CP1 - V	REFERENCIA - CURA CÂMARA ÚMIDA	0,00	28 DIAS	4057,99	20,30
CP2 - V	REFERENCIA - CURA CÂMARA ÚMIDA	0,00	28 DIAS	4035,51	20,20
CP3 - V	REFERENCIA - CURA CÂMARA ÚMIDA	0,00	28 DIAS	4139,74	20,70
MÉDIA				4077,75	20,40
CP1 – X	REFERENCIA – CURA NO TANQUE	0,00	07 DIAS	52,80	26,89
CP2 – X	REFERENCIA – CURA NO TANQUE	0,00	07 DIAS	53,70	27,35
CP3 – X	REFERENCIA – CURA NO TANQUE	0,00	07 DIAS	56,70	28,87

MÉDIA				54,40	20,70
CP1 – Z	REFERENCIA – CURA NO TANQUE	0,00	28 DIAS	47,90	24,39
CP2 – Z	REFERENCIA – CURA NO TANQUE	0,00	28 DIAS	54,70	27,85
CP3 – Z	REFERENCIA – CURA NO TANQUE	0,00	28 DIAS	52,80	26,89
MÉDIA				51,80	26,37
CP1 - A	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	1,5	07 DIAS	1944,69	9,70
CP2 - A	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	1,5	07 DIAS	1868,04	9,30
CP3 - A	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	1,5	07 DIAS	2275,78	11,40
MÉDIA				2029,50	10,13
CP1 - B	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	1,5	28 DIAS	2621,19	13,10
CP2 - B	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	1,5	28 DIAS	2419,87	12,10
CP3 - B	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	1,5	28 DIAS	2851,12	14,20
MÉDIA				2630,73	13,13
CP1 – C	FBC – LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	3,00	07 DIAS	2958,42	14,80
CP2 – C	FBC – LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	3,00	07 DIAS	2866,45	14,30
CP3 – C	FBC – LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	3,00	07 DIAS	3010,54	15,00
MÉDIA				2945,14	14,70
CP1 – D	FBC – LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	3,00	28 DIAS	3574,63	17,90
CP2 – D	FBC – LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	3,00	28 DIAS	3111,70	15,50
CP3 – D	FBC – LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	3,00	28 DIAS	3721,78	18,60
MÉDIA				3469,37	17,33
CP1 - E	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	1,5	07 DIAS	2419,87	12,10
CP2 - E	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	1,5	07 DIAS	2147,02	10,70
CP3 - E	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	1,5	07 DIAS	2031,55	10,10
MÉDIA				2199,48	10,97
CP1 – F	FBC – LAVAGEM+NATA CIMENTO	1,5	28 DIAS	3558,28	17,80
CP2 – F	FBC – LAVAGEM+NATA CIMENTO	1,5	28 DIAS	3679,88	18,40
CP3 – F	FBC – LAVAGEM+NATA CIMENTO	1,5	28 DIAS	3422,36	17,10
MÉDIA				3553,51	17,77
CP1 - G	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	3,00	07 DIAS	2497,54	12,50
CP2 -G	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	3,00	07 DIAS	3090,24	15,40
CP3 - G	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	3,00	07 DIAS	3188,35	15,90

MÉDIA				2925,37	14,60
CP1 – H	FBC – LAVAGEM+NATA CIMENTO	3,00	28 DIAS	3981,35	19,90
CP2 – H	FBC – LAVAGEM+NATA CIMENTO	3,00	28 DIAS	3819,88	19,10
CP3 – H	FBC – LAVAGEM+NATA CIMENTO	3,00	28 DIAS	3263,97	16,30
MÉDIA				3688,40	18,43
CP1 – I	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	1,5	07 DIAS	2034,61	10,20
CP2 – I	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	1,5	07 DIAS	2305,42	11,50
CP3 – I	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	1,5	07 DIAS	1932,42	9,70
MÉDIA				2090,82	10,47
CP1 – J	FBC – LAVAGEM+QUÍMICA	1,5	28 DIAS	3082,07	15,40
CP2 – J	FBC – LAVAGEM+QUÍMICA	1,5	28 DIAS	3131,12	15,60
CP3 – J	FBC – LAVAGEM+QUÍMICA	1,5	28 DIAS	2903,23	14,50
MÉDIA				3038,81	15,17
CP1 – K	FBC – LAVAGEM+QUÍMICA	3,00	07 DIAS	2957,40	14,80
CP2 – K	FBC – LAVAGEM+QUÍMICA	3,00	07 DIAS	2757,10	13,80
CP3 – K	FBC – LAVAGEM+QUÍMICA	3,00	07 DIAS	1854,76	9,30
MÉDIA				2523,09	12,63
CP1 – L	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	3,00	28 DIAS	4381,93	21,90
CP2 – L	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	3,00	28 DIAS	3959,89	19,80
CP3 – L	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	3,00	28 DIAS	3881,20	19,40
MÉDIA				4074,34	20,37
CP1 – M	FBC – LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	1,5	07 DIAS	3066,74	15,3
CP2 – M	FBC – LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	1,5	07 DIAS	2783,67	13,9
CP3 – M	FBC – LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	1,5	07 DIAS	2879,73	14,4
MÉDIA				2910,05	14,53
CP1 – N	FBC – LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	1,5	28 DIAS	54,50	27,75
CP2 – N	FBC – LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	1,5	28 DIAS	52,70	26,83
CP3 – N	FBC – LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	1,5	28 DIAS	45,60	23,22
MÉDIA				50,93	25,93
CP1 – O	FBC – LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	3,00	07 DIAS	3107,62	15,5
CP2 – O	FBC – LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	3,00	07 DIAS	2939	14,7
CP3 – O	FBC – LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	3,00	07 DIAS	3148,49	15,7

MÉDIA				3065,04	15,3
CP1 – P	FBC – LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	3,00	28 DIAS	41,10	20,93
CP2 – P	FBC – LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	3,00	28 DIAS	46,40	23,63
CP3 – P	FBC – LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	3,00	28 DIAS	54,40	27,70
MÉDIA				47,3	24,09
CP1 – Q	FBC – LAVAGEM+FERVURA	1,5	07 DIAS	2881,78	14,40
CP2 – Q	FBC – LAVAGEM+FERVURA	1,5	07 DIAS	2659,00	13,30
CP3 – Q	FBC – LAVAGEM+FERVURA	1,5	07 DIAS	2719,29	13,60
MÉDIA				2753,36	13,77
CP1 – R	FBC – LAVAGEM+FERVURA	1,5	28 DIAS	49,10	25,00
CP2 – R	FBC – LAVAGEM+FERVURA	1,5	28 DIAS	45,30	23,07
CP3 – R	FBC – LAVAGEM+FERVURA	1,5	28 DIAS	50,60	25,77
MÉDIA				48,34	24,61
CP1 – S	FBC – LAVAGEM+FERVURA	3,00	07 DIAS	2643,67	13,20
CP2 – S	FBC – LAVAGEM+FERVURA	3,00	07 DIAS	2734,62	13,70
CP3 – S	FBC – LAVAGEM+FERVURA	3,00	07 DIAS	2801,04	14,00
MÉDIA				2726,44	13,63
CP1 – T	FBC – LAVAGEM+FERVURA	3,00	28 DIAS	42,80	21,79
CP2 – T	FBC – LAVAGEM+FERVURA	3,00	28 DIAS	39,30	20,01
CP3 – T	FBC – LAVAGEM+FERVURA	3,00	28 DIAS	38,50	19,60
MÉDIA				40,20	20,47

Contudo, as amostras dos corpos-de-prova com FBC lavadas em água corrente, fervidas por 30 min. e tratadas em nata de cimento; os cps com FBC lavadas em água corrente e tratadas com nata de cimento; os cps com FBC lavadas em água corrente e tratadas com produtos químicos e; por último, os cps com FBC somente lavadas em água corrente e fervidas por 30 min., sem nenhum tratamento adicional também serão testados no segundo momento da pesquisa, quando blocos para pavimentação serão moldados e ensaiados à compressão simples e absorção de água, pois todos tiveram resultados satisfatórios neste ensaio preliminar.

5.13 ENSAIOS DE TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL

Tabela 5.9 – Ensaio de Tração na Compressão Diametral, Laboratório de Materiais
Construção – UCG

AMOSTRA	TRATAMENTO	DESCRIÇÃO		COMPRESSÃO TRAÇÃO DIAMETRAL	
		% FBC	IDADE	FORÇA (N)	TENSÃO (MPa)
CP1 - U	REFERÊNCIA - CURA CÂMARA ÚMIDA	0,00	07 DIAS	16365,01	2,08
CP2 - U	REFERÊNCIA - CURA CÂMARA ÚMIDA	0,00	07 DIAS	14450,91	1,84
CP3 - U	REFERÊNCIA - CURA CÂMARA ÚMIDA	0,00	07 DIAS	17176,74	2,18
MÉDIA				15997,55	2,03
CP1 - V	REFERÊNCIA - CURA CÂMARA ÚMIDA	0,00	28 DIAS	22317,74	2,84
CP2 - V	REFERÊNCIA - CURA CÂMARA ÚMIDA	0,00	28 DIAS	22347,81	2,84
CP3 - V	REFERÊNCIA - CURA CÂMARA ÚMIDA	0,00	28 DIAS	20714,31	2,63
MÉDIA				21793,29	2,77
CP1 - X	REFERÊNCIA - CURA NO TANQUE	0,00	07 DIAS		2,34
CP2 - X	REFERÊNCIA - CURA NO TANQUE	0,00	07 DIAS		3,1
CP3 - X	REFERÊNCIA - CURA NO TANQUE	0,00	07 DIAS		2,76
MÉDIA					2,73
CP1 - Z	REFERÊNCIA - CURA NO TANQUE	0,00	28 DIAS	21455,90	2,73
CP2 - Z	REFERÊNCIA - CURA NO TANQUE	0,00	28 DIAS	16906,17	2,15
CP3 - Z	REFERÊNCIA - CURA NO TANQUE	0,00	28 DIAS	13959,86	1,77
MÉDIA				17440,64	2,22
CP1 - A	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	1,5	07 DIAS	14931,94	1,90
CP2 - A	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	1,5	07 DIAS	13.168,17	1,67
CP3 - A	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	1,5	07 DIAS	15.352,84	1,95
MÉDIA				14484,32	1,84
CP1 - B	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	1,5	28 DIAS	17256,92	2,19
CP2 - B	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	1,5	28 DIAS	13057,93	1,66
CP3 - B	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	1,5	28 DIAS	17637,73	2,24
MÉDIA				15984,19	2,09
CP1 - C	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	3,00	07 DIAS	20.674,23	2,63

CP2 - C	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	3,00	07 DIAS	18.108,74	2,30
CP3 - C	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	3,00	07 DIAS	21004,93	2,67
MÉDIA				19929,30	2,53
CP1 - D	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	3,00	28 DIAS	22.087,25	2,81
CP2 - D	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	3,00	28 DIAS	21.666,35	2,75
CP3 - D	FBC - LAVAGEM+FERVURA+NATA CIMENTO	3,00	28 DIAS	24198,70	1,21
MÉDIA				22650,77	2,26
CP1 - E	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	1,5	07 DIAS	17808,09	2,26
CP2 - E	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	1,5	07 DIAS	19591,91	2,49
CP3 - E	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	1,5	07 DIAS	17.737,95	2,25
MÉDIA				18379,32	2,33
CP1 - F	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	1,5	28 DIAS	23.690,68	3,01
CP2 - F	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	1,5	28 DIAS	24582,59	3,13
CP3 - F	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	1,5	28 DIAS	17286,98	2,20
MÉDIA				21853,42	2,78
CP1 - G	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	3,00	07 DIAS	20.133,07	2,56
CP2 - G	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	3,00	07 DIAS	18.810,24	2,39
CP3 - G	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	3,00	07 DIAS	18.850,32	2,40
MÉDIA				19264,54	2,45
CP1 - H	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	3,00	28 DIAS	26.536,77	3,37
CP2 - H	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	3,00	28 DIAS	23029,26	2,93
CP3 - H	FBC - LAVAGEM+NATA CIMENTO	3,00	28 DIAS	25664,90	3,26
MÉDIA				25076,97	3,19
CP1 - I	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	1,5	07 DIAS	12677,12	1,61
CP2 - I	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	1,5	07 DIAS	10101,61	1,28
CP3 - I	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	1,5	07 DIAS	10312,06	1,31
MÉDIA				11030,26	1,40
CP1 - J	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	1,5	28 DIAS	15813,83	2,01
CP2 - J	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	1,5	28 DIAS	17096,57	2,17
CP3 - J	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	1,5	28 DIAS	13869,67	1,56
MÉDIA				15593,36	1,91
CP1 - K	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	3,00	07 DIAS	11975,62	1,52

CP2 - K	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	3,00	07 DIAS	14701,45	1,87
CP3 - K	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	3,00	07 DIAS	12637,03	1,6
MÉDIA				13104,70	1,66
CP1 - L	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	3,00	28 DIAS	22518,17	2,86
CP2 - L	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	3,00	28 DIAS	23690,68	3,01
CP3 - L	FBC - LAVAGEM+QUÍMICA	3,00	28 DIAS	19221,12	2,44
MÉDIA				21809,99	2,77
CP1 - M	FBC - LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	1,5	07 DIAS	15362,86	1,95
CP2 - M	FBC - LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	1,5	07 DIAS	17737,95	2,25
CP3 - M	FBC - LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	1,5	07 DIAS	15032,16	1,91
MÉDIA				16044,32	2,04
CP1 - N	FBC - LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	1,5	28 DIAS	20133,07	2,56
CP2 - N	FBC - LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	1,5	28 DIAS	23139,50	2,94
CP3 - N	FBC - LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	1,5	28 DIAS	21987,04	2,79
MÉDIA				21753,20	2,76
CP1 - O	FBC - LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	3,00	07 DIAS	17407,24	2,21
CP2 - O	FBC - LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	3,00	07 DIAS	14250,48	1,81
CP3 - O	FBC - LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	3,00	07 DIAS	18469,51	2,35
MÉDIA				16709,08	2,12
CP1 - P	FBC - LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	3,00	28 DIAS	15392,93	1,95
CP2 - P	FBC - LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	3,00	28 DIAS	15723,64	2,00
CP3 - P	FBC - LAVAGEM+FERVURA+QUÍMICA	3,00	28 DIAS	15362,86	1,95
MÉDIA				15493,14	1,97
CP1 - Q	FBC - LAVAGEM+FERVURA	1,5	07 DIAS	15362,86	1,95
CP2 - Q	FBC - LAVAGEM+FERVURA	1,5	07 DIAS	17246,89	2,19
CP3 - Q	FBC - LAVAGEM+FERVURA	1,5	07 DIAS	16375,03	2,08
MÉDIA				16328,26	2,07
CP1 - R	FBC - LAVAGEM+FERVURA	1,5	28 DIAS	17327,07	2,20
CP2 - R	FBC - LAVAGEM+FERVURA	1,5	28 DIAS	14480,98	1,84
CP3 - R	FBC - LAVAGEM+FERVURA	1,5	28 DIAS	22397,91	2,85
MÉDIA				18068,65	2,29
CP1 - S	FBC - LAVAGEM+FERVURA	3,00	07 DIAS	16375,03	2,08

CP2 - S	FBC - LAVAGEM+FERVURA	3,00	07 DIAS	17477,39	2,22
CP3 - S	FBC - LAVAGEM+FERVURA	3,00	07 DIAS	19872,51	2,53
MÉDIA				17908,31	2,28
CP1 - T	FBC - LAVAGEM+FERVURA	3,00	28 DIAS	1407,1	1,79
CP2 - T	FBC - LAVAGEM+FERVURA	3,00	28 DIAS	21987,04	2,79
CP3 - T	FBC - LAVAGEM+FERVURA	3,00	28 DIAS	19752,25	2,51
MÉDIA				18603,46	2,36

Os resultados dos ensaios mostram que os corpos-de-prova com FBC lavadas em água corrente e tratada com nata de cimento, adicionadas a um teor de 3,0%, tiveram o melhor desempenho na tração à compressão diametral.

Contudo, as amostras dos corpos-de-prova com FBC lavadas em água corrente, fervidas por 30 min. e tratadas com produtos químicos; os cps com FBC lavadas em água corrente e tratadas com produtos químicos; os cps com FBC lavadas em água corrente, fervidas por 30 min. e tratadas com nata de cimento e; por último, os cps com FBC somente lavadas em água corrente e fervidas por 30 min., sem nenhum tratamento adicional tiveram resultados satisfatórios neste ensaio preliminar, bastante próximos aos resultados dos corpos-de-prova de referência.

5.14 ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os corpos-de-prova foram previamente pesados ao final dos tempos de cura (7 e 28 dias) foram submergidos em tanque de água e pesados ao final de 2 horas; retornados ao tanque e pesados novamente ao final de 24 horas. O ensaio foi realizado com três repetições.

O resultado de absorção de água foi calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{Abs} = \{(P_f - P_i) / P_i\} \times 100$$

Onde: P_i = Peso inicial

P_f = Peso final

Abs = Absorção (%)

Os blocos de referência com cura saturada, em tanque de água e cal tiveram os resultados calculados de forma inversa, uma vez que já se encontravam saturados. Assim, foram pesados ao serem retirados da cura saturada, pesados e colocados para secar na estufa a

100° C, por 24 h; posteriormente foram pesados novamente e a mesma fórmula aplicada para o cálculo da absorção é a mesma, no entanto aplicada com os valores ao inverso, Tabela 5.10.

Analisando os resultados dos ensaios de absorção pelos corpos-de-prova observa-se que os com maior índice de absorção foram aqueles adicionados com FBC lavadas em água corrente, fervidas por 30 min. e tratadas com nata de cimento, com idade de 7 dias; seguidos pelos cps lavados em água corrente e tratados com produtos químicos.

Os corpos-de-prova com maior índice de absorção foram aqueles acrescidos com FBC lavadas com água corrente, fervidas por 30 min. e tratadas com produtos químicos. Os cps com FBC lavadas em água corrente, fervidas por 30 min. e tratadas com nata de cimento com idade de 28 dias também apresentaram alto índice de absorção, diferente dos cps com mesmas características com idade de 7 dias.

Tabela 5.10 – Absorção de água nos Corpos-de-prova de Argamassa, Laboratório Materiais de Construção – UCG

FBC Tratada Cura / Teor	Peso inicial (g)	Peso final (g) 2h	Absorção (%) 2h	Peso final (g) 24h	Absorção (%) 24h
A-LAVAGEM+ FERVURA+ NATA CIMENTO 7 dias / 1,5%	417,38	424,92	1,80	426,35	2,10
	413,42	419,78	1,53	421,75	2,01
	416,21	420,91	1,13	423,43	1,73
MÉDIA	415,67	421,87	1,49	423,74	1,95
B-LAVAGEM+ FERVURA+ NATA CIMENTO 28 dias/1,5%	405,42	410,06	1,14	427,96	5,56
	402,30	405,96	0,90	422,21	4,95
	413,91	417,01	0,74	435,87	5,30
MÉDIA	407,21	411,01	0,92	428,68	5,27
C-LAVAGEM+ FERVURA+ NATA CIMENTO 7 dias/3,0%	428,12	429,57	0,34	432,24	0,96
	425,56	426,71	0,27	428,53	0,70
	425,85	426,63	0,18	428,42	0,60
MÉDIA	426,51	427,64	0,26	429,73	0,75
D-LAVAGEM+ FERVURA+ NATA CIMENTO 28 dias/3,0%	415,30	416,72	0,34	435,79	4,93
	401,88	408,14	1,56	423,84	5,46
	408,21	412,59	1,07	428,35	4,93
MÉDIA	408,46	412,48	0,99	429,33	5,11
E-LAVAGEM+ NATA CIMENTO 7 dias/1,5%	415,54	420,7	1,24	422,24	1,61
	420,72	425,08	1,03	427,43	1,59
	434,22	441,14	1,60	442,22	1,84
MÉDIA	423,49	428,97	1,29	430,63	1,68

F-LAVAGEM+ NATA CIMENTO 28 dias/1,5%	418,31	422,35	0,96	427,83	2,27
	423,69	428,00	1,02	432,65	2,11
	402,78	407,27	1,11	412,88	2,51
MÉDIA	414,93	419,21	1,03	424,45	2,30
G-LAVAGEM+ NATA CIMENTO 7 dias/3,0%	425,86	430,49	1,09	433,01	1,68
	427,06	429,75	0,63	432,24	1,21
	424,77	429,53	1,12	431,30	1,54
MÉDIA	425,89	429,92	0,94	432,18	1,48
H-LAVAGEM+ NATA CIMENTO 28 dias/3,0%	425,16	430,66	1,29	436,74	2,72
	422,65	428,01	1,27	432,74	2,39
	424,73	427,31	0,61	431,65	1,63
MÉDIA	424,18	428,66	1,06	433,71	2,25
I-LAVAGEM+ QUÍMICA 7 dias/1,5%	419,94	425,36	1,29	426,86	1,64
	425,94	428,84	0,68	430,23	1,01
	424,13	426,35	0,52	427,81	0,87
MÉDIA	423,34	426,85	0,83	428,30	1,17
J-LAVAGEM+ QUÍMICA 28 dias/1,5%	419,20	429,42	2,44	433,03	3,30
	419,89	428,60	2,07	432,82	3,08
	406,20	409,93	0,92	415,96	2,40
MÉDIA	415,09	422,65	1,81	427,27	2,93
K-LAVAGEM+ QUÍMICA 7 dias / 3,0%	428,58	432,61	0,94	434,69	1,42
	425,22	426,24	0,24	428,34	0,73
	418,98	424,48	1,31	427,04	1,92
MÉDIA	424,26	427,77	0,83	430,02	1,36
L-LAVAGEM+ QUÍMICA 28 dias/3,0%	421,50	424,18	0,63	429,00	1,78
	408,00	410,49	0,61	412,72	1,16
	422,38	424,88	0,59	429,13	1,60
MÉDIA	417,30	419,85	0,61	423,62	1,51
M-LAVAGEM+ FERVURA+ QUÍMICA 7 dias/1,5%	402,10	431,82	7,39	436,06	8,44
	401,48	431,58	7,50	436,63	8,75
	398,61	429,30	7,70	433,41	8,73
MÉDIA	400,73	430,90	7,53	435,37	8,64
N-LAVAGEM+ FERVURA+ QUÍMICA 28 dias/1,5%	426,32	436,19	2,31	441,12	3,47
	427,79	435,82	1,88	440,39	2,94
	421,58	432,86	2,67	438,76	4,07
MÉDIA	425,23	434,96	2,29	440,09	3,49
O-LAVAGEM+ FERVURA+ QUÍMICA 7 dias/3,0%	397,38	425,46	7,07	432,07	8,73
	397,75	427,25	7,42	432,49	8,73
	396,72	429,30	8,21	430,99	8,64
MÉDIA	397,28	427,34	7,57	431,85	8,70
P-LAVAGEM+	425,49	431,34	1,37	435,98	2,46

FERVURA+ QUÍMICA 28 dias/3,0%	425,83	431,95	1,56	436,02	2,39
	424,82	430,07	1,23	436,03	2,64
MÉDIA	425,38	431,12	1,39	436,01	2,50
Q-LAVAGEM+ FERVURA 7 dias/1,5%	429,50	440,09	2,49	441,48	2,79
	424,88	434,81	2,34	436,15	2,65
	425,44	431,66	1,46	433,84	1,97
MÉDIA	426,61	435,52	2,10	437,16	2,47
R-LAVAGEM+ FERVURA 28 dias/1,5%	389,77	391,02	0,32	397,35	1,94
	393,23	396,90	0,93	397,34	1,04
	390,94	394,66	0,95	403,35	3,17
MÉDIA	391,31	394,19	0,73	399,35	2,05
S-LAVAGEM+ FERVURA 7 dias/3,0%	423,86	434,43	2,49	436,09	2,88
	425,36	433,98	2,03	436,04	2,51
	420,54	429,96	2,24	431,96	2,71
MÉDIA	423,25	432,79	2,25	434,70	2,70
T-LAVAGEM+ FERVURA 28 dias/3,0%	403,02	406,04	0,75	414,88	2,94
	395,25	401,09	1,47	415,05	5,01
	396,90	399,93	0,76	410,71	3,48
MÉDIA	398,39	402,35	2,98	413,54	3,81
U-REFERÊNCIA CURA ÚMIDA 7 dias	430,37	432,93	0,59	434,48	0,95
	430,09	433,54	0,80	434,71	1,07
	435,45	439,13	0,84	440,57	1,17
MÉDIA	431,97	435,20	0,74	436,59	1,06
V-REFERÊNCIA CURA ÚMIDA 28 dias	432,67	437,86	1,20	443,45	2,50
	427,38	431,70	1,01	437,62	2,40
	424,08	429,55	1,29	434,43	2,44
MÉDIA	367,38	433,04	1,70	438,50	2,45
X-REFERÊNCIA CURA SATURADA 7 dias	429,52	-	-	395,21	8,68
	434,90	-	-	399,34	8,90
	445,25	-	-	410,26	8,53
MÉDIA	436,56	-	-	401,60	8,70
Z-REFERÊNCIA CURA SATURADA 28 dias	420,01	-	-	395,02	6,33
	431,19	-	-	396,90	8,64
	431,38	-	-	403,02	7,04
MÉDIA	427,53	-	-	398,31	7,34

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

A presente pesquisa abordou a questão da utilização da fibra de bagaço de cana-de-açúcar (FBC) como reforço em matrizes cimentícias, desde aspectos relacionados com a escolha das Usinas que forneceram as amostras, a coleta e beneficiamento das FBCs, caracterização das amostras, a confecção dos corpos-de-prova, confecção dos blocos, bem como suas características físicas e mecânicas.

Após a apresentação e análise dos resultados experimentais, apresentados no Capítulo 6, apresentam-se, neste capítulo, algumas conclusões do estudo realizado e, posteriormente, algumas sugestões para futuras pesquisas.

6.1. CARACTERIZAÇÃO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO E SELEÇÃO DAS AMOSTRAS DE FBC

O processo de produção das Usinas é praticamente o mesmo, o que distingue uma da outra é o número de moagens da cana, na Usina A, 5 ternos de moagem e na Usina B, 4 ternos de moagem. O tipo de retirada da FBC no final da moagem não apresenta diferenças aparentes de uma usina para outra, ficando esta diferença evidente somente após análise laboratorial para detectar a quantidade de açúcar residual presente nas amostras, em decorrência ao número de ternos de moagem.

Ambas as Usinas trabalham com co-geração de energia através do bagaço de cana-de-açúcar, mas somente a Usina A comercializa os créditos de carbono com empresa Holandesa, as Usinas B utilizam a co-geração apenas na época da safra da cana-de-açúcar, como energia para suprir o próprio funcionamento da usina.

6.2. ENSAIOS APLICADOS ÀS AMOSTRAS DE FBC

Os ensaios aplicados às amostras da FBC com diferentes tratamentos mostram que as diferenças nos resultados são significativas do ponto de vista de produção, pois todas as amostras apresentaram resultados satisfatórios em todos os ensaios, porém, o processo de produção é bastante diferenciado de um para outro, sendo que de maior custo financeiro e de mão-de-obra é o que lava as fibras em água corrente, posteriormente fervem-nas por 30min. e para finalizar aplica-se o processo de mineralização com produtos químicos e leva à estufa para secagem.

O preparo mais simplificado, com menor custo financeiro e de mão-de-obra é o que apenas lava as FBC em água corrente e posteriormente, fervem-nas por 30min.

Os resultados menos satisfatórios são os das FBC lavadas em água corrente e com tratamento a base de produtos químicos e nata de cimento.

Sendo assim, a conclusão é que o porcedimento mais simplificado foi o que levou a um melhor resultado do ponto de vista custo-benefício, mão-de-obra e resultado alcançado, porém, estudos mais de durabilidade e desgastes devem ser realizados para melhores conclusões sobre o compósito cimento-FBC (com tratamento de lavagem e fervura).

6.3. ENSAIOS APLICADOS AOS CORPOS-DE-PROVA

Os ensaios aplicados aos corpos-de-prova mostram que a utilização das FBC como reforço em matrizes cimentícias realmente atingem o objetivo de melhorar ou atingir especificações técnicas normalizadas. Os resultados foram satisfatórios na maioria dos corpos-de-prova com amostras de FBC com diferentes tratamentos. Os tratamentos que apresentaram bons desempenhos foram:

- FBC lavada + fervida
- FBC lavada + fervida + nata de cimento
- FBC lavada + fervida + produtos químicos

6.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao finalizar esta pesquisa, fica a sugestão de dar continuidade ao trabalho com fibras de bagaço de cana-de-açúcar visando os seguintes pontos:

- As amostras pesquisadas neste trabalho são de apenas duas Usinas do Estado de Goiás torna-se necessária a investigação mais detalhada do processo de obtenção

das FBCs nas diversas usinas do Estado, a fim de se fazer um comparativo entre as mesmas, destacando-se suas diferenças para uma futura homogeneização deste processo nas diversas unidades sucroalcooleiras. Nesta etapa poderá ser averiguado o estado do bagaço (contaminação) utilizado, o teor de umidade do bagaço, a quantidade de ternos de moagem, o processo de estocagem da fibra depois do processo produtivo, as atuais utilizações destas fibras já aplicadas pelas usinas.

- Estudo mais aprofundado da utilização da FBC obtida diretamente das usinas no que se refere à durabilidade das matrizes cimentícias.
- A produção de argamassas com outros teores de FBC em traços mais empregados no Estado de Goiás também é importante para a viabilização do uso deste resíduo como material de construção.
- Realização de ensaios para determinação do módulo de elasticidade e ensaios que avaliam o compósito do ponto de vista de durabilidade e desgastes, uma vez que este tipo de pavimento é, em muitos casos, bastante solicitado na resistência à abrasão.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. e DEROLLE A. **Construindo com fibras vegetais**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas / Divisão de construção civil. Encarte Técnico IPT/PINI. Construção São Paulo 2200, Abril 1990.

AGOPYAN, V. – **O emprego de materiais fibrosos na construção civil**. In: Simpósio Internacional sobre materiais reforçados com fibras para construção civil. EPUSP, p. 11-25, 1993.

ALVES, José Dafico. **Manual de Tecnologia do Concreto**. Goiânia: UCG, 4 ed. 219 f. 2002.

ALVES, José Dafico; CORREIA, Viviane C.; COSTA, Círio J. Avaliação do biocreto com fibras mineralizadas de bambu. **A Construção em Goiás**. Ano XL – julho de 2008, nº 494, p. 4 – 9.

ANDRADE, J.M.F.; DINIZ, K.M. **Impactos Ambientais da Agroindústria da Cana-de-açúcar: Subsídios para a Gestão**. 2007. Monografia (Especialização em Gerenciamento Ambiental). Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2007.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2008, **Capacidade Geração Brasil**. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15> >. Acesso em: 201 jun 2009.

ANJOS, M.A.S.; MARTINELLI, A.E. **Caracterização do resíduo da biomassa da cana-de-açúcar para aplicação em pastas cimentícias**. In: 18º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2008, Porto de Galinhas. Anais do 18º CBECiMat, 2008. v. único.

AGGARWAL, L. K. Bagasse Reinforced Cement Composites. In: **Cement and Concrete Composites**. 17: p.107-112, 1995.

ASSIS, Poliana Cunha de Oliveira; LACERDA, Rogério Dantas de; AZEVEDO, Hamilton Medeiros de; DANTAS NETO, José; FARIAS, Carlos Henrique de Azevedo. Resposta dos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar a diferentes lâminas de irrigação e adubação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Volume 4, Número 2. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251**: agregado em estado solto: determinação da massa unitária: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR NM 52**: Agregados miúdos – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 7211** – Agregados para concreto, especificação. Rio de Janeiro, 1983. 5p.

_____. **NBR 7215** – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1990. 7p.

_____. **NBR 7217** – Agregados: determinação da composição granulométrica, método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987. 3p.

_____. **NBR 7222** – Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. 5p.

_____. **NBR 7251** – Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982. 3p.

_____. **NBR 9778** – Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água ou imersão – índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987. 3p.

_____. **NBR 9780** – Peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987. 3p.

_____. **NBR 9781** – Peças de concreto para pavimentação - Especificação. Rio de Janeiro, 1987. 4p.

_____. **NBR 8522** – Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. Rio de Janeiro, 2003. 9p.

_____. **NBR NM 43:** Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 11580:** Cimento Portland - Determinação da água da pasta de consistência padrão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR NM 76:** Cimento Portland: determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine). Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 11579:** Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 micrômetros (número 200) – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

ASTM C 150. American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Portland Cement. Philadelphia, 1991.

_____. **ASTM D 1037** – Standar Evaluating the Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. Annual Book of ASTM Standards, Part 22, 1972.

BERALDO, Antônio Ludovico; BARTHOLOMEU, André; BATISTA, Adão M.; FAGUNDES, Antônio C.; ROLIM, Mário M. e SEGANTINI, Anderson. A. Viabilidade de Fabricação de Compósitos Resíduos de Materiais e Cimento Portland (CBS). In: **Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Material de Construção Civil**. p. 79-84, 1996.

BERALDO, A. L. – **Compósitos de biomassa vegetal-cimento**. Manuscrito da disciplina Ap 399. Tópicos Especiais em Construções. Edições internas. Feagri/Unicamp 1997a.

BILBA, K.; M-A. Arsene; A. Ouensanga. **Sugar cane bagasse fibre reinforced cement composites. Part I. Influence of the botanical components of bagasse on the setting of bagasse/cement composite**. Cement & Concrete Composites, v.25, p.91-96, jan. 2003. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com>> acesso em: 7 maio 2007.

CADERNOS NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Mudanças Climáticas**. Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, nº 3, fev.2005.

CARBONO BRASIL. **The energy of nature**. Disponível em: <<http://www.carbonobrasil.com/faq.htm>>. Acesso em: 15 abr 2008.

CEPED – **Utilização de fibras vegetais no Fibro-Cimento e no Concreto-Fibra**. Camaçari, Bahia, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. Rio de Janeiro, BNH/DEPEA, 72 p., 1982. CIMENTO.ORG. **Notícias**. Disponível em:<<http://www.cimentobrasil.com/>> Acesso em: 10 jun. 2009.

COELHO, S. T., **Mecanismos para implementação da co-geração de eletricidade a partir de biomassa. Um modelo para o Estado de São Paulo**.1999. 200 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

COIMBRA, M.; SANTOS, W. N.; MORELLI, M. R. Recuperação de resíduos inorgânicos para a construção civil. **Revista Cerâmica**. v 48, n. 306, abr 2002.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**. Primeiro Levantamento 2009. Brasília. Conab.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**. 2008. Brasília. Conab.

CORDEIRO, Guilherme Chagas. **Utilização de Cinzas Ultrafinas do Bagaço de Cinza de Cana-de-açúcar e da Casca de Arroz como Aditivos Minerais em Concreto**. 2006. 445f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2006.

FAEG. Federação da Agricultura e Pecuária de Goiás. **Cultivo de cana-de-açúcar**. 2008 Disponível em: < <http://www.faeg.com.br/index.php>>. Acesso em 04 out 2008.

FAEG. Federação da Agricultura e Pecuária de Goiás. **Posicionamentos e recomendações do Sistema Sindical Rural referentes à expansão da cultura de cana-de-açúcar em Goiás: bases para discussão**. Goiânia: FAEG/SENAR, 2007.

GIANNASI, F.; THÉBAUD-MONY, A. Occupation exposures to asbestos in Brazil. **International Journal of Occupational and Environmental Health**, Philadelphia, v. 3, n. 2, p. 150-157, 1997.

FERNANDES, Angélica. **Usina Jalles Machado**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <meioambiente@jallesmachadosa.com.br> em 27 nov 2007.

KHALILI, Amyra El. O que são Créditos de Carbono? **Revista Eco 21**. ano XII, nº 74, Jan. 2003.

MACIEL, T. S. CABANÃS, L. A. IX ENGEMA – Encontro nacional sobre gestão empresarial e meio ambiente. 2008, Curitiba. **Aplicabilidade do mercado de carbono na cogeração de energia no setor sucro-alcooleiro**. 8p.

MANNAN, M.A., GANAPATHY, C. Concrete from an agricultural waste oil-palm shell (OPS). **Building & Environment**. v. 39, n. 4, pp. 441-448, Abril 2004.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balanço nacional da cana-de-açúcar e agroenergia**. Secretaria de Produção e Agroenergia. 2008.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio - Brasil - 2008/09 a 2018/19**. Assessoria de Gestão estratégica - AGE. 2009.

MARTINS, SANDRA C. F. **Pisos de argamassa reforçada com partículas de bambu**. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2002.

MEDEIROS, Heloisa. **Pavimentação – Piso Intertravado**. Disponível em <
<http://www.equipedebobra.com.br/construcao-reforma/18/pavimentacao-piso-intertravado-96977-1.asp> > Acesso em 16 dez. 2009.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1ª ed. São Paulo: Editora Pini, 1994. 616 p.

MESA VALENCIANO, M. D. C., **Incorporação de resíduos agroindustriais e seus efeitos sobre as características físico-mecânicas de tijolos de solo melhorado com cimento**. 1999. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1999.

MESA VALENCIANO, M. D. C.; **Durabilidade de compósitos cimentícios com materiais lignocelulósicos**. 2004. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP, 2004.

MESA VALENCIANO, M. C.; FREIRE, W. J. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**. vol.24. nº.3 Jaboticabal. Set./Dez. 2004.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do Concreto**; 2. ed. São Paulo: Editora PINI, 1997. 826 p.

OLIVEIRA, Flávia. **Mais cimento**. O Globo, 14/04/2009. Rio de Janeiro.

ORIGINAL BLOCOS. Pavimento Intertravado. Disponível em <
http://www.originalblocos.com.br/pag_suporte_info_pav.asp > acesso em 17 dez. 2009.

PIMENTEL, L. L. – **Viabilidade da fabricação de telhas onduladas utilizando compósito à base de *Pinus caribaea***. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP- Campinas - SP, 2000, 67p.

PIMENTEL, Lia Lorena. **Durabilidade de argamassas modificadas por polímeros e reforçadas com fibras vegetais**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 139 p.

PIMENTEL, Lia L.; BERALDO, A. L.; SAVASTANO, H. Jr. – Durabilidade de compósito biomassa vegetal-cimento modificado por polímero. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.344-353, maio/ago. 2006

REVISTASIM. Piso colorido dá vida às orlas de Pajuçara e Ponta Verde. Disponível em < <http://www.revistasim.com.br/asp/materia.asp?idtexto=962> >. Acesso em 18 dez. 2009.

SANTOS, Elisângela. Goiás terá 84 usinas de álcool e açúcar, até 2015. **Diário da Manhã**. Goiânia. 09 out 2007. Economia. Disponível em: <<http://brasilbio.blogspot.com/2007/10/gois-ter-84-usinas-de-lcool-e-acar-at.html>>. Acesso em: 22 mai 2008

SANTOS, A. V.; BORJA, E. V. Avaliação das propriedades mecânicas de blocos intertravados com resíduo de pneu reciclado. **Holos**. Ano 23, Vol. 3, p. 52-60, 2007.

SARMIENTO, C. Ramirez; W. J. Freire. **Argamassa de cimento e areia combinada com fibras de bagaço de cana-de-açúcar**. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, p.1-8, dez. 1997.

SARMIENTO, C. R. e FREIRE, W. J. – **Tratamentos aplicados ao bagaço de cana-de-açúcar visando sua utilização para fins de material de construção**. In: Workshop reciclagem e reutilização de resíduos como material de construção civil. p. 132-137, 1996.

SAVASTANO JR, Holmer. **Zona de transição entre fibras e pasta de cimento Portland**: Caracterização e inter-relação com as propriedades mecânicas do compósito. 249p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1992.

SAVASTANO Jr., Holmer; SOUZA, Francisco de Assis; AGOPYAN, Vahan. Materiais reforçados com fibras – correlação entre a zona de transição fibra-matriz e as propriedades mecânicas. **IPT, Boletim** 67, 58 p. 1994.

SAVASTANO, H. Jr.; Agopyan, V.; John V. M.. Tecnologia para o desenvolvimento de telhas de fibrocimento – CIM-CEL. **Coletânea Habitare** - vol. 6 - Inovação Tecnológica na Construção Habitacional. p. 16, 1994.

SAVASTANO JÚNIOR, Holmer. Utilização de Resíduos na Construção Habitacional. **Coletânea Habitare**. Vol. 4. 2002.

SAVASTANO JR., Holmer. **Sistemas de cobertura para construções de baixo custo: uso de fibras vegetais e de outros resíduos agroindustriais (Cap 4)**. In: ROCHA, J.C., JOHN, V.(editores). Utilização de resíduos na construção habitacional. **Coletânea Habitare**. ANTAC, Porto Alegre, 2003. 272p.

SAVASTANO, H. Jr.; GATTO, E. G.; KAWABATA, C. Y. **Polpas kraft de *Agave sisalana* e de *Musa cavendishii* para reforço de fibrocimento alternativo.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.23, n.2, p.211-220, maio/ago. 2003

SAVASTANO, J. H.; PIMENTEL, L. L. – **Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V. 4, n.1, p. 103-110, 2000.

SAVASTANO JR., Holmer; SANTOS, Sérgio dos. Uso de resíduos de fibra vegetal em construção. **Revista Eletrônica de Jornalismo Científico.** Disponível em<<http://www.comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=32&id=382>>. Acesso em: 14 jan 2010.

SILVA, Aluizio Caldas. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Civil. 145 p. 2002.

SILVA, Antonio Jorge Parga da. **Aplicação de partículas longas e orientadas de bagaço de cana-de-açúcar na produção de painel particulado similar de OSB.** 2006. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade de São Carlos. São Carlos. 2006. 167 p.

SILVA, G.C.; LATORRACA, J.V.F.; CARMO, J.F.; FERREIRA, E.S. Efeito de aditivos minerais sobre as propriedades de chapas cimento-madeira. **Revista Árvore.** Viçosa-MG, v.30, n.3, p.451-456, 2006.

SIMIELE, D.; MIZUMOTO, C.; SEGANTINI, A. A. S.; SALLES, F. M. Utilização de agregados reciclados em pavimentos intertravados. *Exacta*, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 231-241, jul./dez. 2007.

SOUZA, Z. J.; AZEVEDO, P. F. Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: um estudo a partir das usinas paulistas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 44, n. 2, abr. 2006. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-20032006000200002&script=sci_arttext>. Acesso em: 04 jun. 2008.

SOUSA, Lara Rubia Lopes de. **Viabilidade do uso de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) residuais do Estado de Goiás como adição mineral ao cimento Portland.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás. Goiânia – GO, 2009. 120 p.

STAUT, Luiz Alberto. **Condições dos solos para o cultivo de cana-de-açúcar.** 2006. Artigo. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/CanaSolo/index.htm>. Acesso em: 04 jun 2009.

Studinkat, J. B. (1989). Asbestos Substitution in the Fibre Cement Industry. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, vol.11, n. 2, p. 73-78.

TATU, Blocos lajes pisos telhas. **Piso intertravado ganha calçadas do mundo**. Artigo disponível em: < http://www.tatu.com.br/artigos_04.asp >. Acesso em 15 jan. 2010.

TAUIL, C. Alberto. Como construir. Pavimentação com blocos pré-moldados de concreto. As etapas que asseguram o melhor desempenho: da base à manutenção, passando pelo assentamento. **Revista Eletrônica** Técnica. PINI Web. Disponível em:< <http://www.cspublisher.com/admin/produtos/PTE/engenharia-civil/38/artigo32155-1.asp> >. Acesso em: 15 jan 2010.

TAVARES, Paulo César Coelho. **O bagaço de cana como alternativa energética**. São Paulo, 2009. Entrevista promovida pela UNICA em 18 mar. 2009. Disponível em:< <http://www.unica.com.br/opiniaio/show.asp?msgCode={46B20D1D-D55C-4E4B-8D13-4919D0FB6F67}>> >. Acesso em 05 abr 2009.

TENÓRIO, J. A. S., ARAÚJO, F. G. da S., PEREIRA, S. S. R., FERREIRA, A. V., ESPINOSA, D. C. R., BARROS, A. Decomposição da fase majoritária do cimento Portland - Parte II: alita com adições de Fe e Al. **Revista Escola de Minas**. Ouro Preto. v. 56, n. 2, p. 1-5, abr. 2003. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672003000200009&script=sci_arttext >. Acesso em: 23 maio 2008.

THOMAZ, Eduardo C. S. Concreto reforçado com fibras – Mito e Realidade. Notas de aula. Disponível em: < <http://www.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/crf.pdf> >. Acesso em 10 dez 2009.

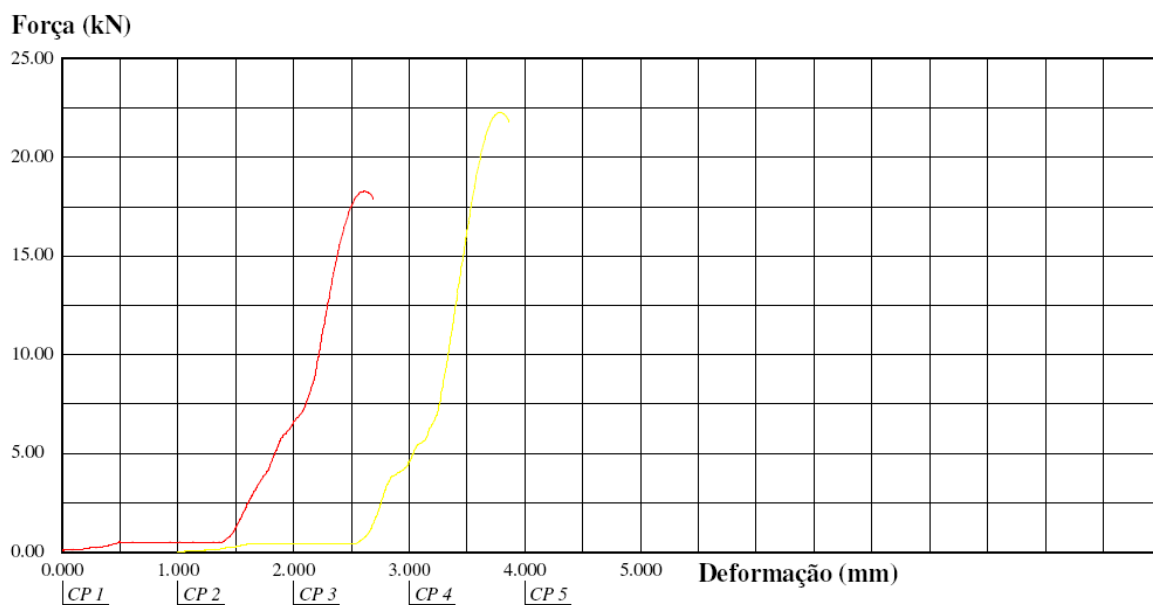
ZARDO, A. M.; BEZERRA, E. M.; MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JÚNIO, H. Utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como “filler” em compostos de fibrocimento. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Entac**. São Paulo, 2004. Disponível em:< http://www.fzea.usp.br/constrambi/producao_arquivos/utilizacao_da_cinza_de_bagaco.pdf >. Acesso em: 15 jun 2008.

ANEXO

GRÁFICOS ENSAIOS NOS CORPOS-DE-PROVA

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
CORPOS DE PROVA CILINDRICOS 5X10cm IDADE 07DIAS
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **06/07/2009** Hora: **16:19:17** Trabalho n° **0262**
Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO ARGAMASSA 5X10**
Ident. Amostra: > IDADE: **07Dias** INTERESADO: **Mestrado Janaina** COMPOSIÇÃO: **Argamassa composta com**
bagaço de cana



Observação: Obs: Corpos de Prova moldados no Lab. de Materiais de Construção da Universidade Católica de Goiás e rompidos na idade de 07 dias

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
CORPOS DE PROVA CILINDRICOS 5X10cm IDADE 07DIAS
Relatório de Ensaio

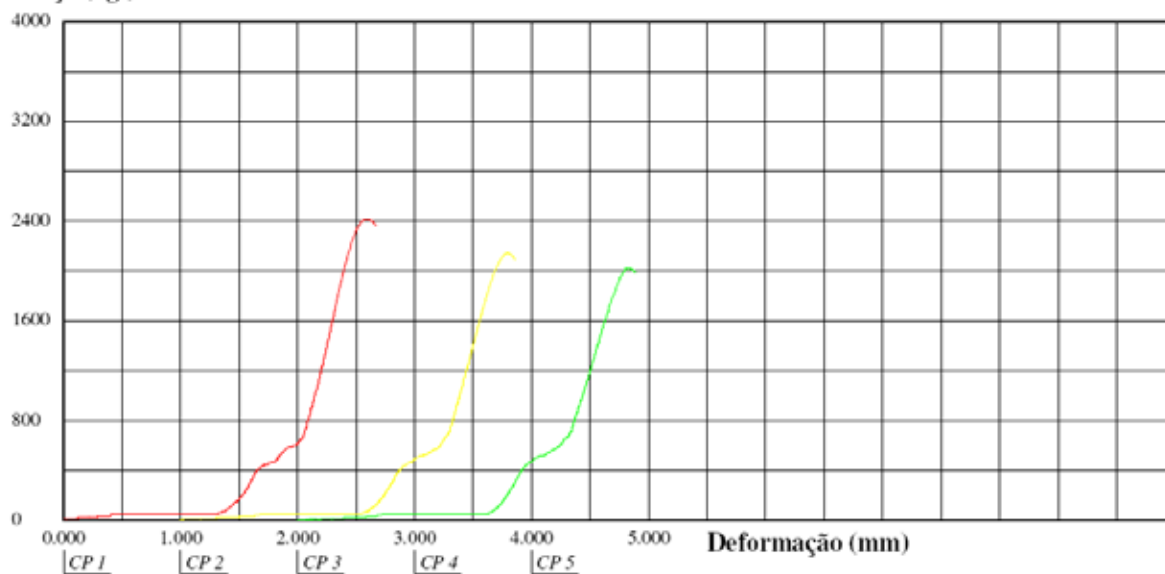
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **07/07/2009** Hora: **17:11:02** Trabalho n° **0270**

Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO ARGAMASSA 5X10**

Ident. Amostra: > IDADE: **07ias** INTERESADO: **Mestrado Janaina** COMPOSIÇÃO: **Argamassa composta com bagaço de cana**

Corpo de Prova	DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA (MPa)	FORÇA MAXIMA (kgf)	AREA (mm ²)
CP 1	50.00	9.3	1868.04	1963.49
CP 2	50.00	11.4	2275.78	1963.49
Número CPs	2	2	2	2
Média	50.00	10.35	2072	1963
Desv. Padrão	0.0000	1.440	288.3	0.0000
Mínimo	50.00	9.330	1868	1963
Máximo	50.00	11.37	2276	1963

Força (kgf)



Observação: Obs: Corpos de Prova moldados no Lab. de Materiais de Construção da Universidade Católica de Goiás e rompidos na idade de 07 dias

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
CORPOS DE PROVA CILINDRICOS 5X10cm IDADE 07DIAS
Relatório de Ensaio

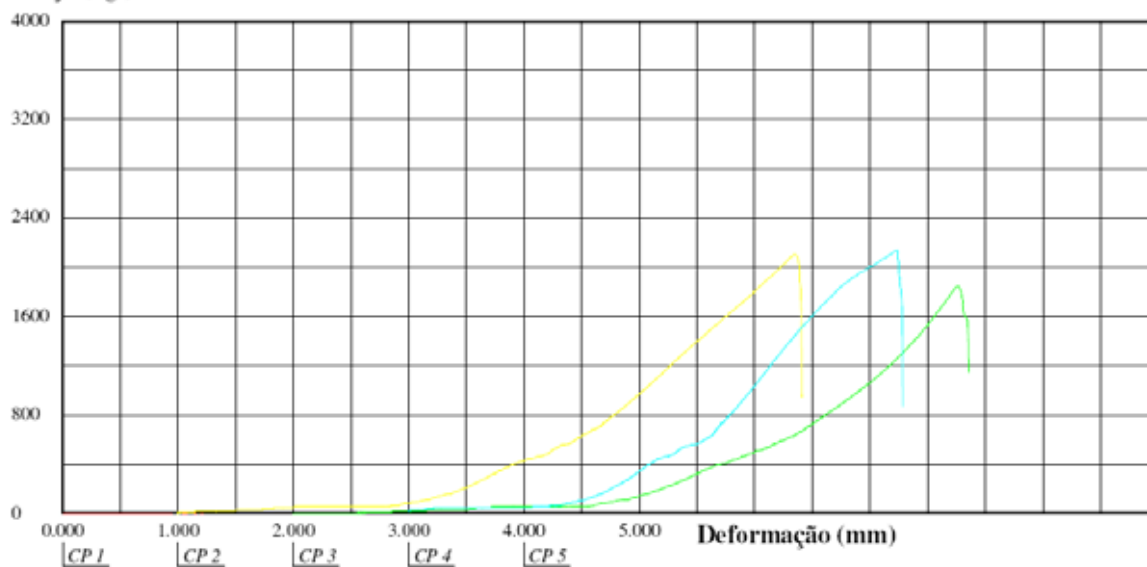
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **08/07/2009** Hora: **11:32:21** Trabalho n° **0277**

Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO ARGAMASSA 5X10**

Ident. Amostra: > IDADE: **07ias** INTERESADO: **Mestrado Janaina** COMPOSIÇÃO: **Argamassa composta com bagaço de cana**

Corpo de Prova	DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA (MPa)	FORÇA MAXIMA (kgf)	AREA (mm ²)
CP 1	50.00	0.0	1.02	1963.49
CP 2	50.00	10.5	2108.19	1963.49
CP 3	50.00	9.2	1846.58	1963.49
CP 4	50.00	10.7	2141.92	1963.49
Número CPs	4	4	4	4
Média	50.00	7.614	1524	1963
Desv. Padrão	0.0000	5.115	1024	0.0000
Mínimo	50.00	0.005117	1.024	1963
Máximo	50.00	10.70	2142	1963

Força (kgf)



Observação: Obs: Corpos de Prova moldados no Lab. de Materiais de Construção da Universidade Católica de Goiás e rompidos na idade de 07 dias

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
CORPOS DE PROVA CILINDRICOS 5X10cm IDADE 07DIAS
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **08/07/2009** Hora: **17:57:14** Trabalho n° **0285**

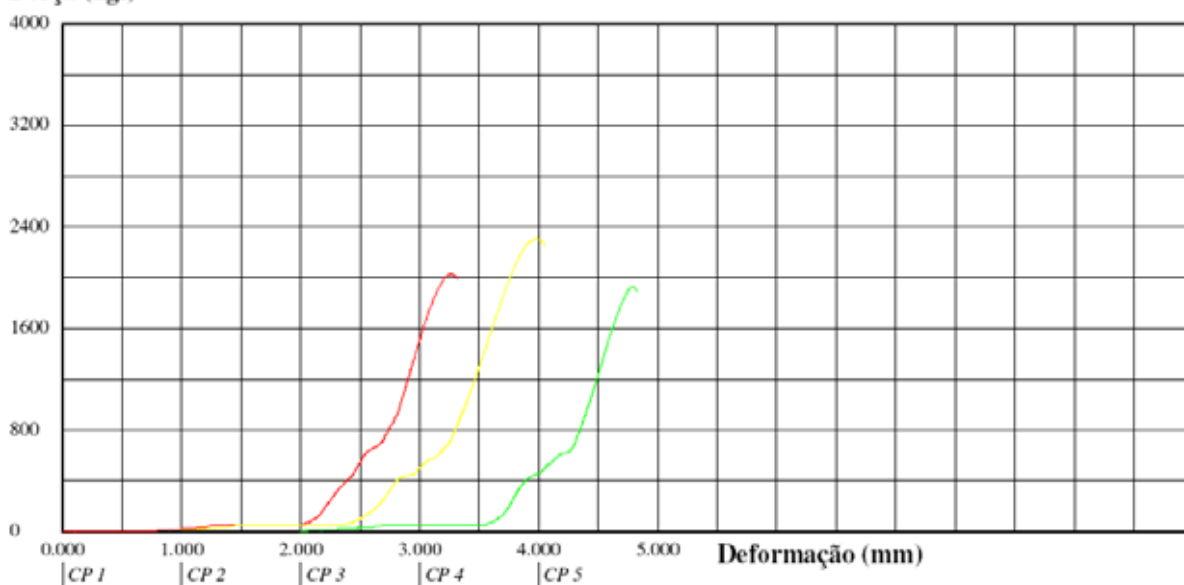
Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO ARGAMASSA 5X10**

Ident. Amostra: > IDADE: **07Dias** INTERESADO: **Mestrado Janaina** COMPOSIÇÃO: **Argamassa composta com**

Bagaço de cana

Corpo de Prova	DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA (MPa)	FORÇA MAXIMA (kgf)	AREA (mm2)
CP 1	50.00	10.2	2034.61	1963.49
CP 2	50.00	11.5	2305.42	1963.49
CP 3	50.00	9.7	1932.42	1963.49
Número CPs	3	3	3	3
Média	50.00	10.44	2091	1963
Desv. Padrão	0.0000	0.9627	192.7	0.0000
Mínimo	50.00	9.651	1932	1963
Máximo	50.00	11.51	2305	1963

Força (kgf)



Observação: Obs: Corpos de Prova moldados no Lab. de Materiais de Construção da Universidade Católica de Goiás e rompidos na idade de 07 dias

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
CORPOS DE PROVA CILINDRICOS 5X10cm IDADE 07DIAS
Relatório de Ensaio

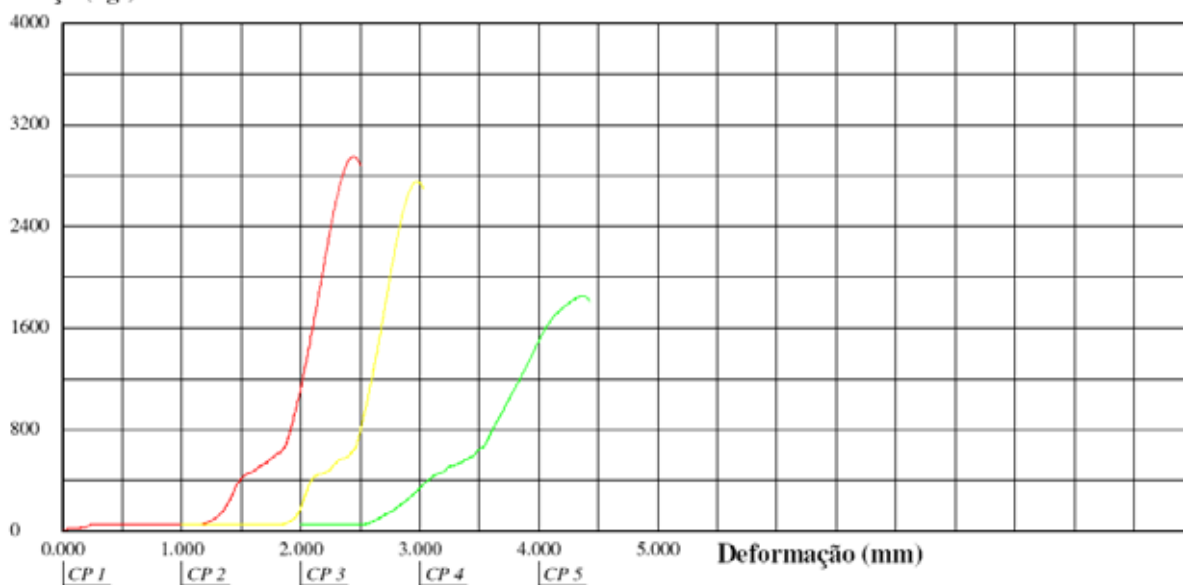
Máquina: **Emic DL3000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **08/07/2009** Hora: **18:21:17** Trabalho n° **0286**

Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO ARGAMASSA 5X10**

Ident. Amostra: > IDADE: **07Dias** INTERESADO: **Mestrado Janaina** COMPOSIÇÃO: **Argamassa composta com bagaço de cana**

Corpo de Prova	DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA (MPa)	FORÇA MAXIMA (kgf)	AREA (mm ²)
CP 1	50.00	14.8	2957.40	1963.49
CP 2	50.00	13.8	2757.10	1963.49
CP 3	50.00	9.3	1854.76	1963.49
Número CPs	3	3	3	3
Média	50.00	12.60	2523	1963
Desv. Padrão	0.0000	2.934	587.4	0.0000
Mínimo	50.00	9.264	1855	1963
Máximo	50.00	14.77	2957	1963

Força (kgf)

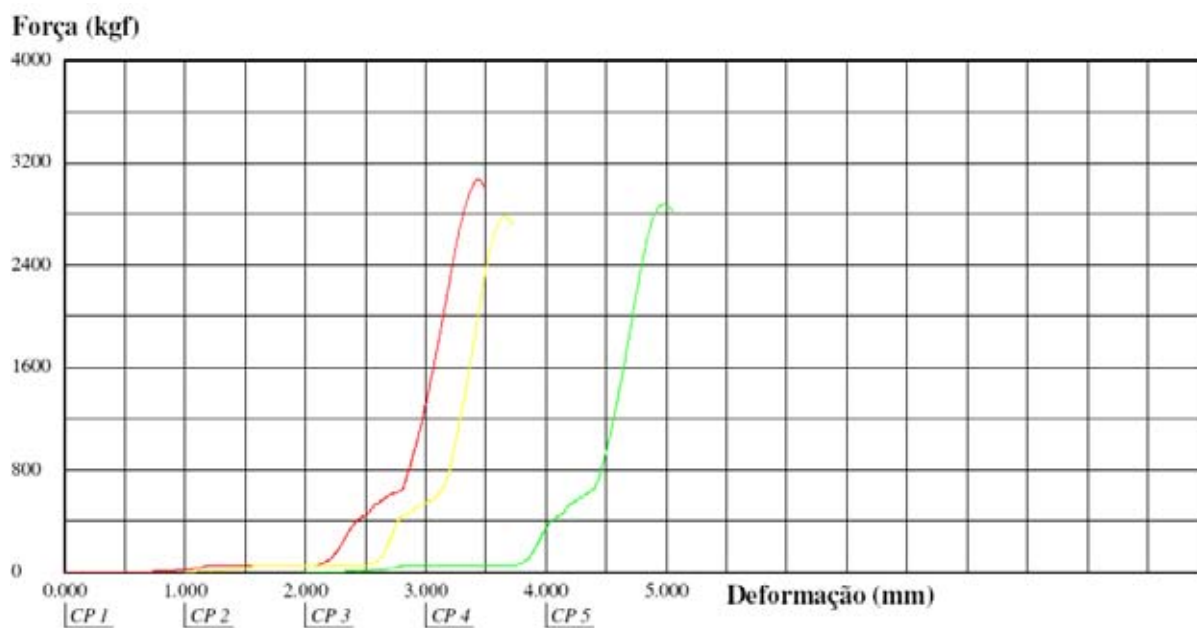


Observação: Obs: Corpos de Prova moldados no Lab. de Materiais de Construção da Universidade Católica de Goiás e rompidos na idade de 07 dias

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
CORPOS DE PROVA CILINDRICOS 5X10cm IDADE 07DIAS
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **09/07/2009** Hora: **10:45:48** Trabalho n° **0293**
 Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO ARGAMASSA 5X10**
 Ident. Amostra: > IDADE: **07Dias** INTERESADO: **Mestrado Janaina** COMPOSIÇÃO: **Argamassa composta com bagaço de cana**

Corpo de Prova	DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA (MPa)	FORÇA MAXIMA (kgf)	AREA (mm ²)
CP 1	50.00	15.3	3066.74	1963.49
CP 2	50.00	13.9	2783.67	1963.49
CP 3	50.00	14.4	2879.73	1963.49
Número CPs	3	3	3	3
Média	50.00	14.53	2910	1963
Desv. Padrão	0.0000	0.7189	143.9	0.0000
Mínimo	50.00	13.90	2784	1963
Máximo	50.00	15.32	3067	1963



Observação: Obs: Corpos de Prova moldados no Lab. de Materiais de Construção da Universidade Católica de Goiás e rompidos na idade de 07 dias

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
CORPOS DE PROVA CILINDRICOS 5X10cm IDADE 07DIAS
Relatório de Ensaio

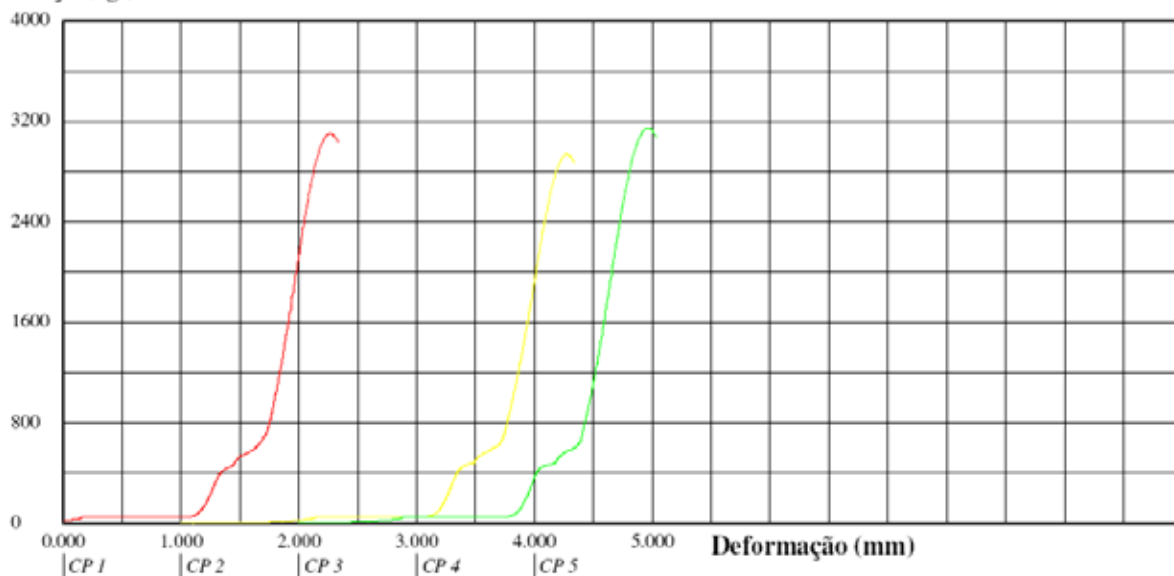
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **09/07/2009** Hora: **11:09:18** Trabalho n° **0294**

Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO ARGAMASSA 5X10**

Ident. Amostra: > IDADE: **07Dias** INTERESADO: **Mestrado Janaina** COMPOSIÇÃO: **Argamassa composta com bagaço de cana**

Corpo de Prova	DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA (MPa)	FORÇA MAXIMA (kgf)	AREA (mm ²)
CP 1	50.00	15.5	3107.62	1963.49
CP 2	50.00	14.7	2939.00	1963.49
CP 3	50.00	15.7	3148.49	1963.49
Número CPs	3	3	3	3
Média	50.00	15.31	3065	1963
Desv. Padrão	0.0000	0.5546	111.0	0.0000
Mínimo	50.00	14.68	2939	1963
Máximo	50.00	15.73	3148	1963

Força (kgf)



Observação: Obs: Corpos de Prova moldados no Lab. de Materiais de Construção da Universidade Católica de Goiás e rompidos na idade de 07 dias

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
CORPOS DE PROVA CILINDRICOS 5X10cm IDADE 07DIAS
Relatório de Ensaio

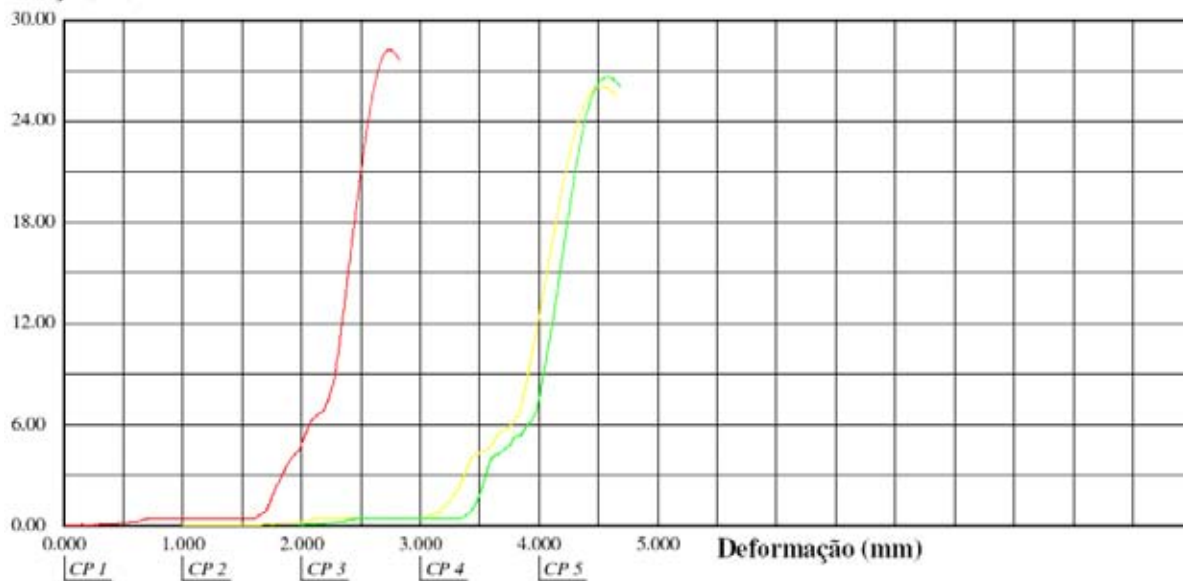
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **01/01/1997** Hora: **02:42:33** Trabalho n° **0302**

Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO ARGAMASSA 5X10**

Ident. Amostra: > IDADE: **07 Dias** INTERESADO: **Mestrado Janaina** COMPOSIÇÃO: **Argamassa composta com bagaço de Cana**

Corpo de Prova	DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA (MPa)	FORÇA MAXIMA (kgf)	AREA (mm ²)
CP 1	50.00	14.4	2881.78	1963.49
CP 2	50.00	13.3	2659.00	1963.49
CP 3	50.00	13.6	2719.29	1963.49
Número CPs	3	3	3	3
Média	50.00	13.75	2753	1963
Desv. Padrão	0.0000	0.5755	115.2	0.0000
Mínimo	50.00	13.28	2659	1963
Máximo	50.00	14.39	2882	1963

Força (kN)



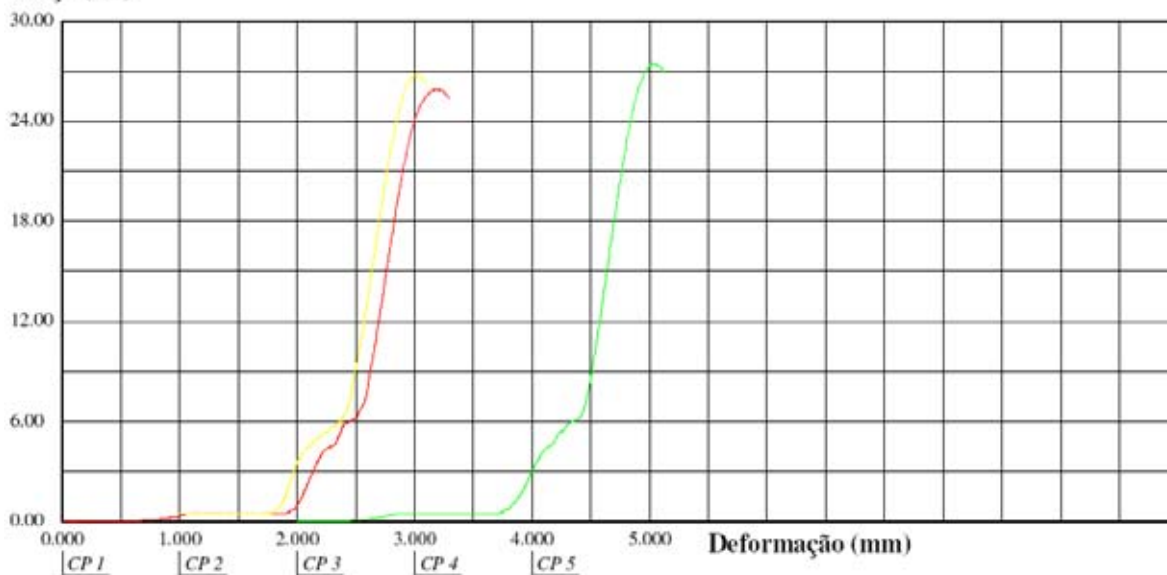
Observação: Obs: Corpos de Prova moldados no Lab. de Materiais de Construção da Universidade Católica de Goiás e rompidos na idade de 07 dias

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
CORPOS DE PROVA CILINDRICOS 5X10cm IDADE 07DIAS
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **01/01/1997** Hora: **03:12:35** Trabalho n° **0303**
 Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO ARGAMASSA 5X10**
 Ident. Amostra: > IDADE: **07 Dias** INTERESADO: **Mestrado Janaina** COMPOSIÇÃO: **Argamassa composta com bagaço de cana**

Corpo de Prova	DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA (MPa)	FORÇA MAXIMA (kgf)	AREA (mm ²)
CP 1	50.00	13.2	2643.67	1963.49
CP 2	50.00	13.7	2734.62	1963.49
CP 3	50.00	14.0	2801.04	1963.49
Número CPs	3	3	3	3
Média	50.00	13.62	2726	1963
Desv. Padrão	0.0000	0.3946	79.00	0.0000
Mínimo	50.00	13.20	2644	1963
Máximo	50.00	13.99	2801	1963

Força (kN)

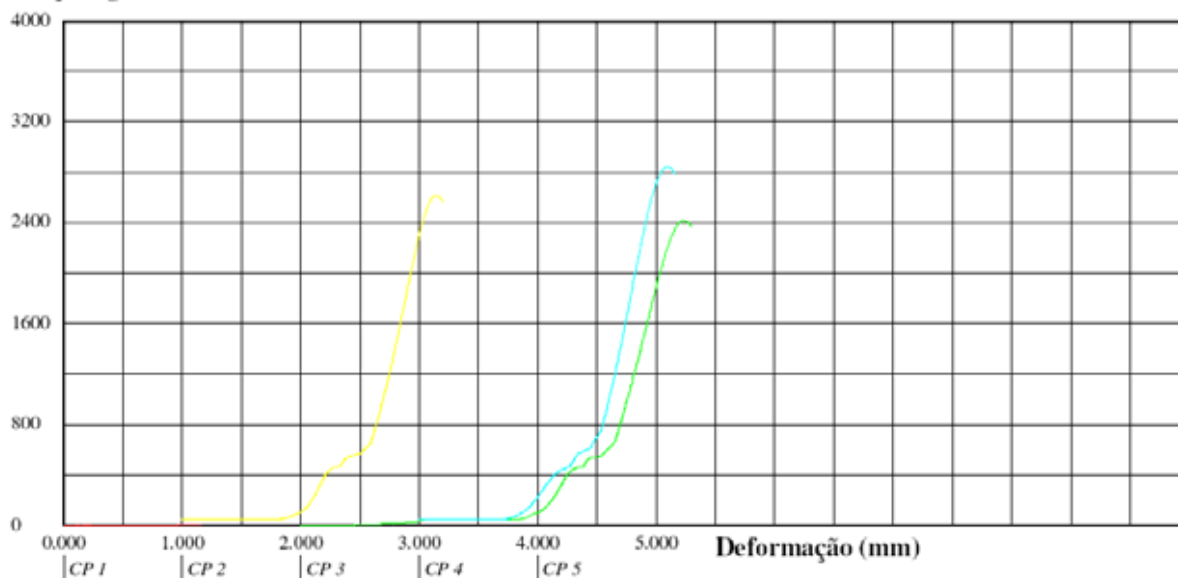


ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
CORPOS DE PROVA CILINDRICOS 5X10cm IDADE 28DIAS
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **27/07/2009** Hora: **15:52:57** Trabalho n° **0316**
 Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO ARGAMASSA 5X10**
 Ident. Amostra: > IDADE: **28Dias** INTERESADO: **Mestrado Janaina** COMPOSIÇÃO: **Argamassa composta com bagaço de cana**

Corpo de Prova	DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA (MPa)	FORÇA MAXIMA (kgf)	AREA (mm ²)
CP 1	50.00	0.1	15.33	1963.49
CP 2	50.00	13.1	2621.19	1963.49
CP 3	50.00	12.1	2419.87	1963.49
CP 4	50.00	14.2	2851.12	1963.49
Número CPs	4	4	4	4
Média	50.00	9.873	1977	1963
Desv. Padrão	0.0000	6.590	1320	0.0000
Mínimo	50.00	0.07656	15.33	1963
Máximo	50.00	14.24	2851	1963

Força (kgf)



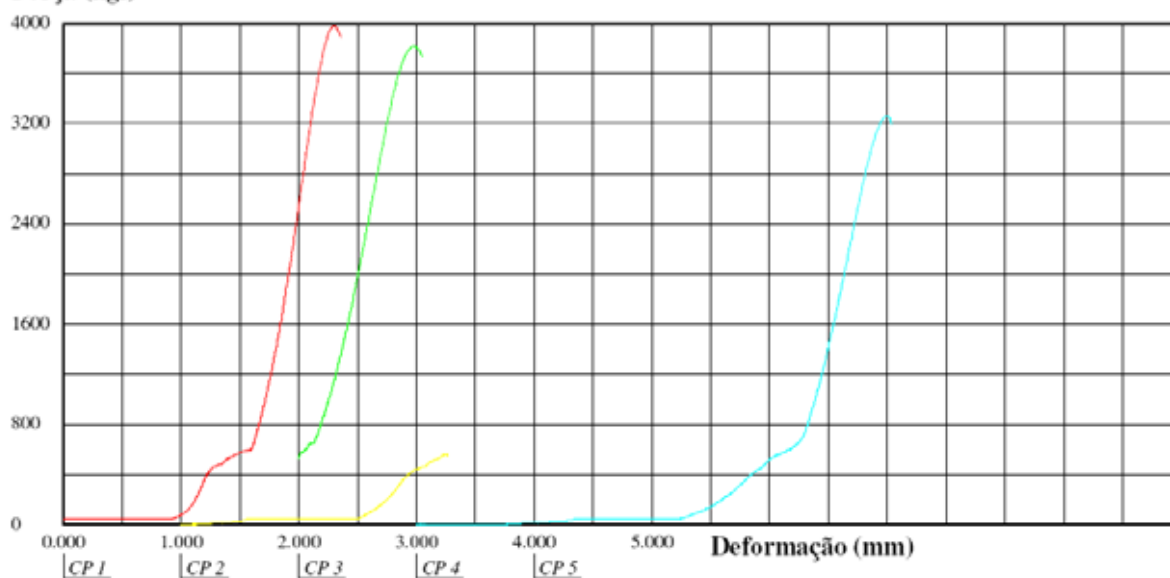
Observação: Obs: os CP'S foram moldados no Lab. de Mat. da Universidade Católica de Goiás e rompidos na idade de 28 dias.

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
CORPOS DE PROVA CILINDRICOS 5X10cm IDADE 28DIAS
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **28/07/2009** Hora: **14:53:47** Trabalho n° **0319**
 Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO ARGAMASSA 5X10**
 Ident. Amostra: > IDADE: **28Dias** INTERESADO: **Mestrado Janaina** COMPOSIÇÃO: **Argamassa composta com bagaço de cana**

Corpo de Prova	DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA (MPa)	FORÇA MAXIMA (kgf)	AREA (mm ²)
CP 1	50.00	19.9	3981.35	1963.49
CP 2	50.00	2.8	568.18	1963.49
CP 3	50.00	19.1	3819.88	1963.49
CP 4	50.00	16.3	3263.97	1963.49
Número CPs	4	4	4	4
Média	50.00	14.53	2908	1963
Desv. Padrão	0.0000	7.942	1590	0.0000
Mínimo	50.00	2.838	568.2	1963
Máximo	50.00	19.88	3981	1963

Força (kgf)



Observação: Obs: os CP'S foram moldados no Lab. de Mat. da Universidade Católica de Goiás e rompidos na idade de 28 dias.

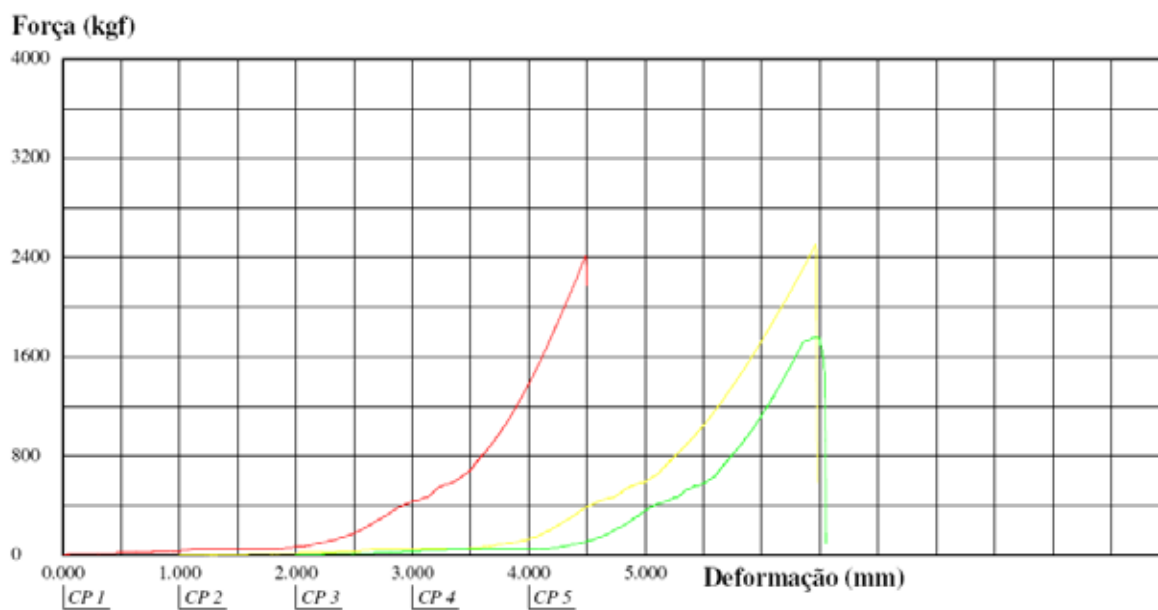
ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
CORPOS DE PROVA CILINDRICOS 5X10cm IDADE 28DIAS
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **29/07/2009** Hora: **16:05:26** Trabalho n° **0325**

Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO ARGAMASSA 5X10**

Ident. Amostra: > IDADE: **28Dias** INTERESADO: **Mestrado Janaina** COMPOSIÇÃO: **Argamassa composta com bagaço de cana**

Corpo de Prova	DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA (MPa)	FORÇA MAXIMA (kgf)	AREA (mm ²)
CP 1	50.00	12.1	2415.79	1963.49
CP 2	50.00	12.5	2506.74	1963.49
CP 3	50.00	8.8	1762.79	1963.49
Número CPs	3	3	3	3
Média	50.00	11.13	2228	1963
Desv. Padrão	0.0000	2.027	405.8	0.0000
Mínimo	50.00	8.804	1763	1963
Máximo	50.00	12.52	2507	1963



Observação: Obs: os CP'S foram moldados no Lab. de Mat. da Universidade Católica de Goiás e rompidos na idade de 28 dias.

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
CORPOS DE PROVA CILINDRICOS 5X10cm IDADE 28DIAS
Relatório de Ensaio

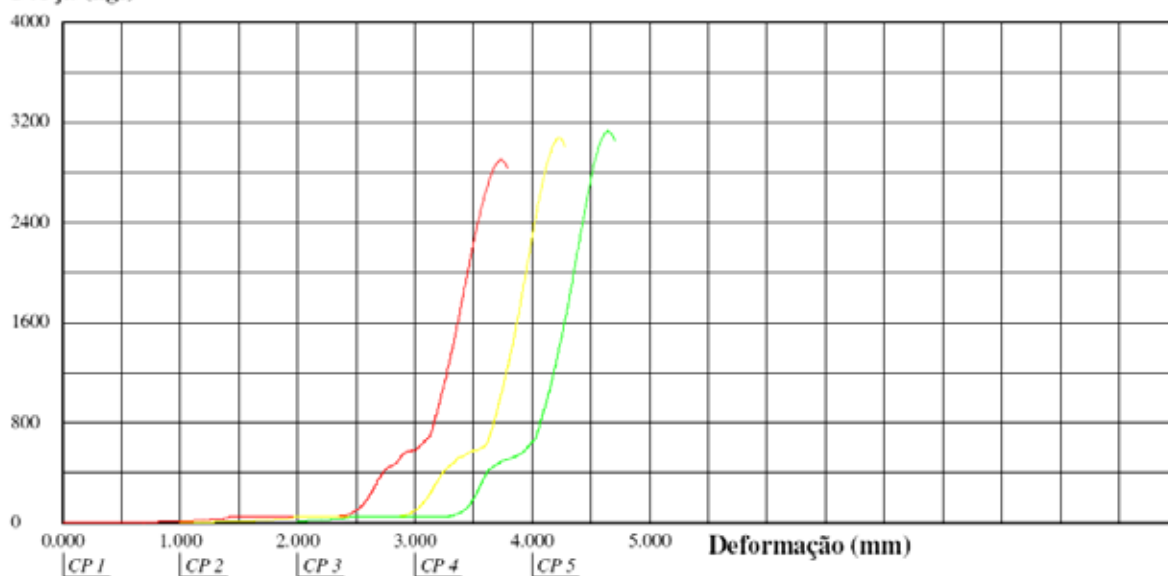
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **29/07/2009** Hora: **16:13:07** Trabalho n° **0326**

Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO ARGAMASSA 5X10**

Ident. Amostra: > IDADE: **28 dias** INTERESADO: **Mestrado Janaina** COMPOSIÇÃO: **Argamassa composta com bagaço de cana**

Corpo de Prova	DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA (MPa)	FORÇA MAXIMA (kgf)	AREA (mm ²)
CP 1	50.00	14.5	2903.24	1963.49
CP 2	50.00	15.4	3082.07	1963.49
CP 3	50.00	15.6	3131.12	1963.49
Número CPs	3	3	3	3
Média	50.00	15.18	3039	1963
Desv. Padrão	0.0000	0.5991	119.9	0.0000
Mínimo	50.00	14.50	2903	1963
Máximo	50.00	15.64	3131	1963

Força (kgf)

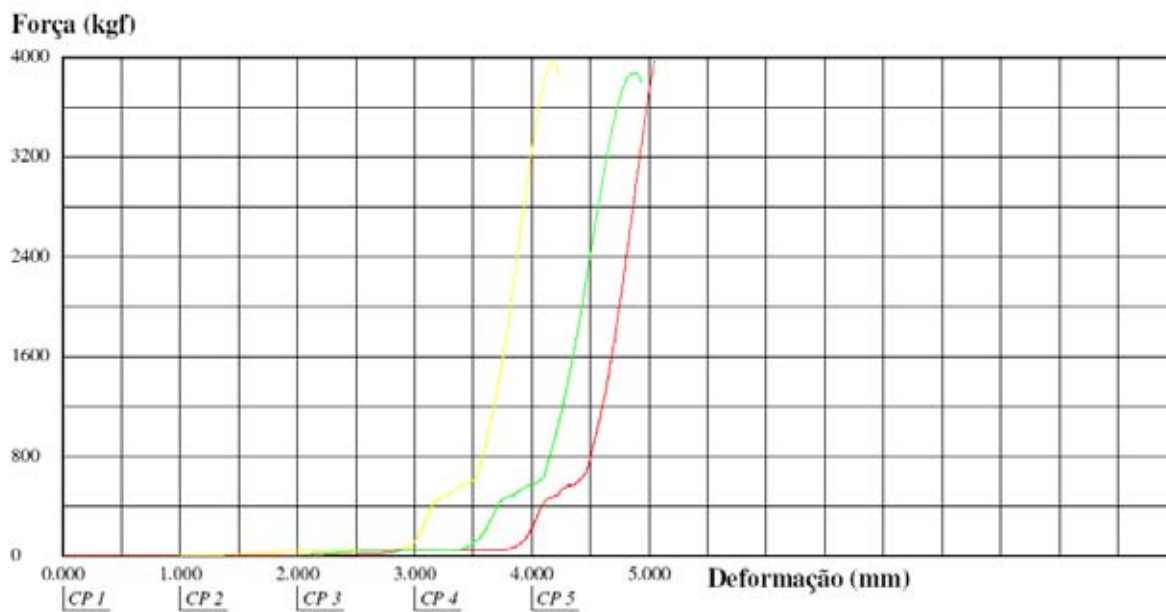


Observação: Obs: os CP'S foram moldados no Lab. de Mat. da Universidade Católica de Goiás e rompidos na idade de 28 dias.

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
CORPOS DE PROVA CILINDRICOS 5X10cm IDADE 28DIAS
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL3000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **29/07/2009** Hora: **16:42:04** Trabalho n° **0327**
 Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO ARGAMASSA 5X10**
 Ident. Amostra: > IDADE: **28Dias** INTERESADO: **Mestrado Janaina** COMPOSIÇÃO: **Argamassa composta com bagaço de cana**

Corpo de Prova	DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA (MPa)	FORÇA MAXIMA (kgf)	AREA (mm ²)
CP 1	50.00	21.9	4381.93	1963.49
CP 2	50.00	19.8	3959.89	1963.49
CP 3	50.00	19.4	3881.20	1963.49
Número CPs	3	3	3	3
Média	50.00	20.35	4074	1963
Desv. Padrão	0.0000	1.345	269.3	0.0000
Mínimo	50.00	19.38	3881	1963
Máximo	50.00	21.89	4382	1963



Observação: Obs: os CP'S foram moldados no Lab. de Mat. da Universidade Católica de Goiás e rompidos na idade de 28 dias.

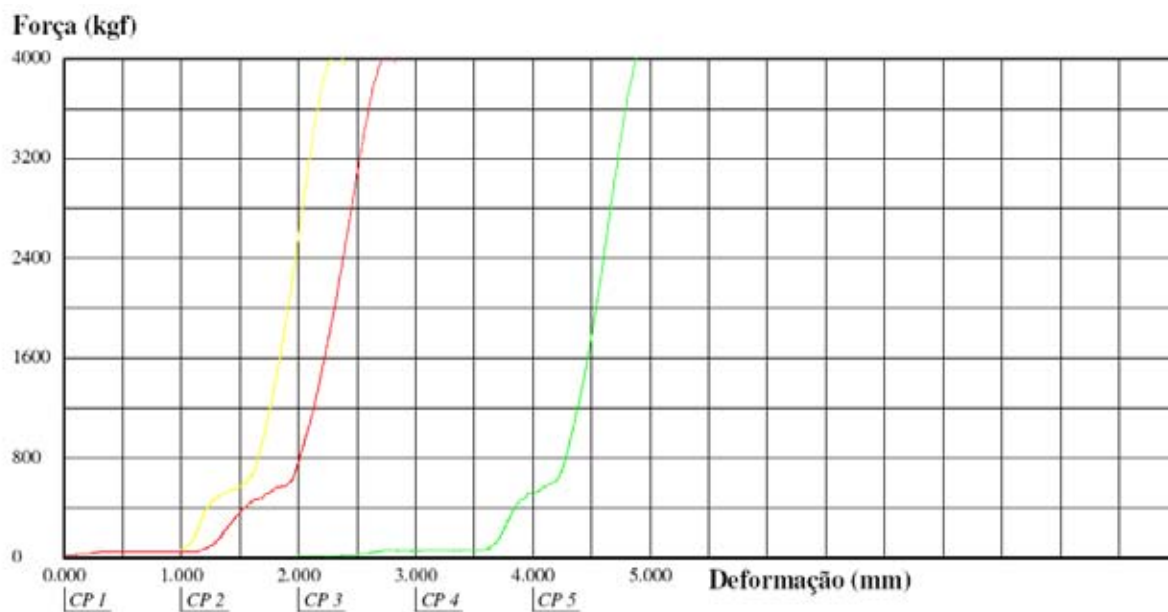
ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
CORPOS DE PROVA CILINDRICOS 5X10cm IDADE 28DIAS
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **29/07/2009** Hora: **17:08:57** Trabalho n° **0328**

Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO ARGAMASSA 5X10**

Ident. Amostra: > IDADE: **28Dias** INTERESADO: **Mestrado Janaina** COMPOSIÇÃO: **Argamassa composta com bagaço de cana**

Corpo de Prova	DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA (MPa)	FORÇA MAXIMA (kgf)	AREA (mm ²)
CP 1	50.00	20.3	4057.99	1963.49
CP 2	50.00	20.2	4035.51	1963.49
CP 3	50.00	20.7	4139.74	1963.49
Número CPs	3	3	3	3
Média	50.00	20.37	4078	1963
Desv. Padrão	0.0000	0.2740	54.85	0.0000
Mínimo	50.00	20.16	4036	1963
Máximo	50.00	20.68	4140	1963



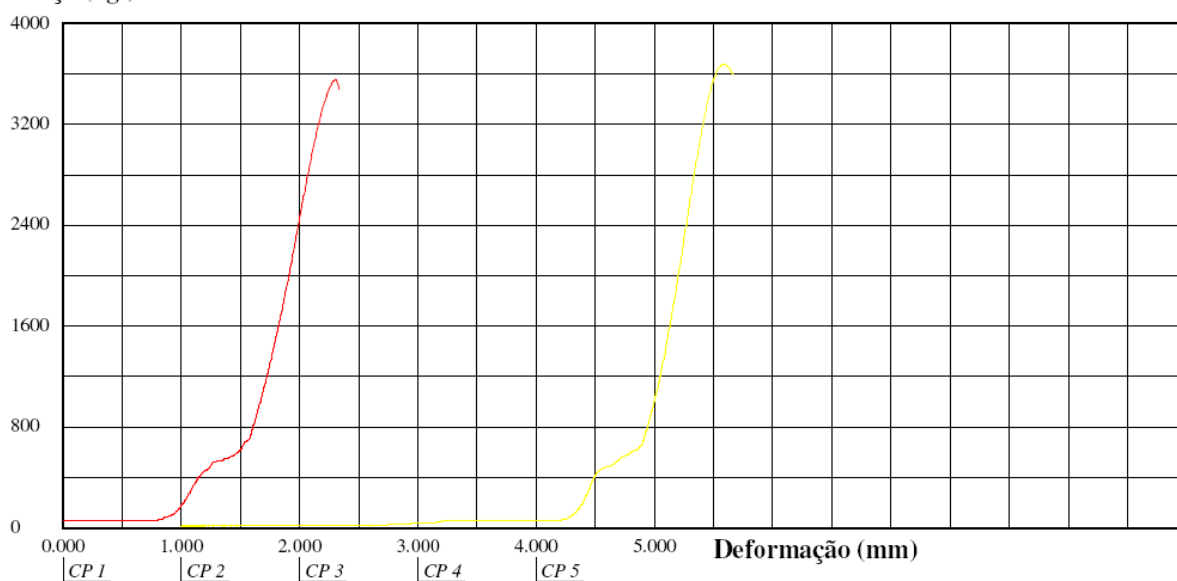
Observação: Obs: os CP'S foram moldados no Lab. de Mat. da Universidade Católica de Goiás e rompidos na idade de 28 dias.

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES
CORPOS DE PROVA CILINDRICOS 5X10cm IDADE 28DIAS
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **29/07/2009** Hora: **17:55:25** Trabalho n° **0329**
 Programa: **Tesc versão 1.13** Método de Ensaio: **COMPRESSÃO ARGAMASSA 5X10**
 Ident. Amostra: > IDADE: **28Dias** INTERESADO: **Mestrado Janaina** COMPOSIÇÃO: **Argamassa composta com bagaço de cana**

Corpo de Prova	DIAMETRO (mm)	RESISTENCIA (MPa)	FORÇA MAXIMA (kgf)	AREA (mm ²)
CP 1	50.00	17.8	3558.28	1963.49
CP 2	50.00	18.4	3679.88	1963.49
Número CPs	2	2	2	2
Média	50.00	18.08	3619	1963
Desv. Padrão	0.0000	0.4295	85.99	0.0000
Mínimo	50.00	17.77	3558	1963
Máximo	50.00	18.38	3680	1963

Força (kgf)



Observação: Obs: os CP'S foram moldados no Lab. de Mat. da Universidade Católica de Goiás e rompidos na idade de 28 dias.

Ident. Amostra:

Observação: Obs: Corpos de Prova moldados no Lab. de Materiais de Construção da Universidade Católica de Goiás e rompidos na idade de 07 dias

