UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS E SEUS EFEITOS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS DE TIJOLOS DE SOLO MELHORADO COM CIMENTO

por

MARTHA DEL CARMEN MESA VALENCIANO

Orientador:

Prof. Dr. WESLEY JORGE FREIRE

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do titulo de Mestre em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Construções Rurais.

Campinas, SP
Fevereiro de 1999

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

M56i

Mesa Valenciano, Martha del Carmen
Incorporação de resíduos agroindustriais e seus efeitos sobre as características físico-mecânicas de tijolos de solo melhorado com cimento. / Martha del Carmen Mesa Valenciano.--Campinas, SP: [s.n.], 1999.

Orientador: Wesley Jorge Freire
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Resíduos agrícolas. 2. Tijolos. 3. Bagaço de cana. 4. Cana-de-açúcar. I. Freire, Wesley Jorge. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Detrás de un gran sacrificio, se esconde una obra de mucho amor

…… al amor de mis niñas, que me ha dado la fuerza diaria para seguir lejos de ellas
……al amor de mi mami mi hermana y mi pequeña familia, sin su apoyo no hubiese podido realizar este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Al prof. Dr. Wesley Jorge Freire, mi orientador, en primer lugar por su confianza en mí, desde Cuba y su profesionalismo técnico en la certera dirección y apoyo en cada paso.

A FAPESP, por todos los recursos financieros ofrecidos para la realización de éste trabajo.

Al prof. Dr. Antonio Beraldo por su colaboración y ayuda en muchos momentos.

A todos los profesores del Departamento de Construcciones Rurales, por acogerme en su departamento con cariño, respeto y calor.

A la profesora Raquel, que junto con las secretarias Vanessa, Deise, Ana y Marta, me brindaron atención y total ayuda desde que llegué aquí.

Al resto de los profesores, técnicos y auxiliares de la Facultad de Ingeniería Agrícola, por sus indicaciones, colaboraciones, atenciones en muchos instantes a lo largo de este tiempo.

A la laboratorista Gisleiva, por su acompañamiento y preocupación en la etapa experimental.

A todas las personas del Campo Experimental, en especial a Freire, por su esfuerzo en la realización de los ladrillos.

A los diferentes laboratorios de la Unicamp, que hicieron posible la realización de los ensayos:
-Laboratorio de Materiales y Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil, en particular al técnico Marçal.
-Laboratorio de Máquinas Agrícolas, Facultad de Ingeniería Agrícola.
-Laboratorio de la Facultad de Ingeniería de Alimentos.
-Central Analítica, Instituto de Química.

A la Usina Furlan Santa Bárbara D'Oeste, SP por el suministro del bagazo y las cenizas de caña de azúcar y a la Copersucar, en especial a su representante, Guiraldini.

A todos mis compañeros de la Disciplina Tecnología de la Construcción (Cuba), y del Departamento de Arquitectura, a los que les agradezco su colaboración y confianza también.

A todos los amigos brasileros de la postgraduación, por su disposición y ayuda, en particular, los que comparten el día a día, Aninha, Neri, João, Loris, Mario y a otros, que ya por el cariño son especiales, Rogerio, Bernadete, Helena, Yamilia y Rafael.

A los sinceros amigos, Mirian, Rodolfo, Reinaldo, Claudia y Rafael, a ellos tengo que agradecerles su compañía, su aliento y haberme hecho sentir como en una pequeña y nueva familia.

A las horas de amor y silencio que desde tan lejos me acompañan.

A todos, todos aquellos que consiguieron con su apoyo y fuerza, ayudarme en la culminación de este trabajo....

Muchísimas Gracias.

CONTEÚDO

Página

CONTEÚDO..... iv
LISTA DE QUADROS..... vi
LISTA DE FIGURAS..... ix
RESUMO..... xi
SUMMARY..... xii
1. INTRODUÇÃO..... 1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 3
2.1. A CONSTRUÇÃO COM TERRA..... 4
2.2. TIJOLOS E BLOCOS DE ADOBE..... 5
2.3. TIJOLOS E BLOCOS DE SOLO-CIMENTO..... 8
2.4. TIJOLOS DE SOLO-CAL..... 10
2.5. TIJOLOS REFORÇADOS COM FIBRAS E OUTROS MATERIAIS..... 11
2.6. BLOCOS CONFECCIONADOS COM RESÍDUOS AGRÍCOLAS..... 12
2.7. TIJOLOS E BLOCOS CERÂMICOS..... 13
2.8. BLOCOS SÍLICO-CALCÁRIOS..... 18
2.9. TIJOLOS E BLOCOS DE BORRA DE CARBURETO E ESCÓRIA DE ALTO-FORNO..... 19
2.10. TIJOLOS DE CINZAS..... 19
2.11. TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE CINZAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR..... 23
2.12. ARGAMASSA DE CIMENTO REFORÇADA COM FIBRAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR..... 26
2.13. TIJOLOS DE SOLO-VINHAÇA CONCENTRADA..... 29
3. MATERIAIS E MÉTODOS 32
3.1. FIBRAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR..... 32
3.1.1. MATERIAIS..... 32
3.1.2. MÉTODOS..... 33

3.1.2.1. PROCEDIMENTOS APLICADOS AO BAGAÇO E ÁS FIBRAS..... 33

3.1.2.2. PROCEDIMENTOS APLICADOS AOS SOLOS..... 36

3.1.2.3. PROCEDIMENTOS APLICADOS ÁS MISTURAS..... 37

3.1.2.4. PROCEDIMENTOS APLICADOS AOS TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO-FIBRA..... 39

3.2. CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR..... 43

3.2.1. MATERIAIS..... 43

3.2.2. MÉTODOS..... 45

3.2.2.1. PROCEDIMENTOS APLICADOS ÁS CINZAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR..... 45

3.2.2.2. PROCEDIMENTOS APLICADOS ÁS MISTURAS DE SOLO, CIMENTO E CINZA..... 47

3.1.2.3. PROCEDIMENTOS APLICADOS AOS TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO-CINZA..... 50

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 52

4.1. ENSAIOS APLICADOS ÁS FIBRAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR..... 52

4.1.1. ENSAIOS APLICADOS ÁS MISTURAS DE SOLO-CIMENTO-FIBRA..... 57

4.2. ENSAIOS APLICADOS ÁS CINZAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR..... 62

4.2.1. ENSAIOS APLICADOS ÁS MISTURAS DE CIMENTO-CINZA.. 68

4.2.2. ENSAIOS APLICADOS ÁS MISTURAS DE SOLO-CIMENTO-CINZA..... 71

4.3. TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO-FIBRA..... 76

4.4. TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO-CINZA..... 84

4.5. AVALIAÇÃO GERAL DOS TIJOLOS CONFECCIONADOS COM FIBRA E CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR..... 89

5. CONCLUSÕES..... 96

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 99

LISTA DE QUADROS

		Página
Quadro 1.....	Resistência à compressão de blocos de adobe, em kgf/cm^2, e perda por escovação no ensaio de durabilidade (*).....	7
Quadro 2.....	Características das fibras estudadas	12
Quadro 3.....	Características dos blocos empregados em alvenaria estrutural (Bessey, citado por **SABBATINI**, 1985).....	14
Quadro 4.....	Características de resistência mecânica e comportamento de tijolos e blocos frente à absorção e sucção de água.....	15
Quadro 5.....	Algumas características e propriedades de tijolos e blocos.....	16
Quadro 6.....	Composição química dos materiais utilizados.....	21
Quadro 7.....	Resistência mecânica e absorção de água de tijolos de solo-cinza.....	21
Quadro 8.....	Composição granulométrica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar....	24
Quadro 9.....	Valores médios de resistência à compressão e absorção de água de tijolos de solo-cimento com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar.....	24
Quadro 10...	Ensaios realizados com tijolos de solo-cimento com adição de cinzas beneficiadas.....	25
Quadro 11...	Tempos inicial (TPI) e final (TPF) de pega da pasta de cimento, em horas-minutos, preparada com água de amassamento de diferentes composições.....	27
Quadro 12...	Índices de consistência da argamassa de cimento e areia reforçada com diferentes teores de fibras de bagaço de cana-de-açúcar.....	28
Quadro 13...	Resistência mecânica de corpos-de-prova de argamassa de cimento e areia reforçada com fibras de bagaço de cana-de-açúcar, aos 7 dias de idade.....	28
Quadro 14...	Tratamentos aplicados às fibras de bagaço de cana-de-açúcar em relação à resistência à compressão e à massa específica aparente.....	29
Quadro 15...	Resistência à compressão simples de tijolos confeccionados com solos tratados com 12% de vinhaça concentrada (em MPa).....	30
Quadro 16...	Fracionamento do bagaço de cana-de-açúcar em estado natural, a partir de uma quantidade inicial de 50g.....	52

Quadro 17... Composição granulométrica do bagaço de cana-de-açúcar depois de passado na peneira de 4,76 mm, a partir de uma quantidade inicial de 100 g..... 53

Quadro 18... Teor de umidade inicial das fibras de bagaço de cana-de-açúcar..... 53

Quadro 19... Teores de açúcar residual das fibras de bagaço de cana-de-açúcar em função da lavagem a quente..... 54

Quadro 20... Porcentagem de absorção de água por fibras de bagaço de cana-de-açúcar em função do tempo..... 55

Quadro 21... Características físicas dos solos estudados..... 56

Quadro 22... Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{máx}$) e umidade ótima (h_{ot}) do ensaio de compactação das misturas de solo-cimento-fibra..... 57

Quadro 23... Resistência à compressão simples (MPa), aos 28 e 60 dias, de corpos-de-prova confeccionados com diferentes misturas de solo-cimento-fibra..... 60

Quadro 24... Absorção de água, em porcentagem, dos corpos-de-prova de solo-cimento-fibra..... 62

Quadro 25... Resultados do ensaio de peneiramento inicial da cinza em peneira de 4,76 mm..... 63

Quadro 26... Análise granulométrica da cinza de bagaço de cana-de-açúcar..... 63

Quadro 27... Resultados comparativos das análises granulométricas das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar da Usina São José (Campos, RJ) e da Usina Furlan (Santa Bárbara D'Oeste, SP)..... 64

Quadro 28... Peneiramento da cinza de bagaço de cana-de-açúcar a partir de uma amostra inicial de 5 kg sob diferentes tempos de moagem..... 65

Quadro 29... Peneiramento da cinza de bagaço de cana-de-açúcar a partir de uma amostra inicial de 3 kg sob diferentes tempos de moagem..... 66

Quadro 30... Composição química da cinza de bagaço de cana-de-açúcar da Usina Furlan, SP..... 67

Quadro 31... Resultados do ensaio de determinação da água da pasta de consistência normal..... 68

Quadro 32... Resistência à compressão simples, aos 7 e 28 dias, de corpos-de-prova confeccionados com diferentes combinações de cimento Portland/cinza de bagaço de cana-de-açúcar..... 69

Quadro 33... Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{máx}$) e umidade ótima (h_{ot}) do ensaio de compactação das misturas (tratamentos) de solo-cimento-cinza..... 71

Quadro 34... Resistência à compressão simples (MPa), aos 28 e 60 dias, de corpos-de-prova confeccionados com diferentes misturas de solo-cimento-cinza..... 73

Quadro 35.... Absorção de água, em porcentagem, dos corpos-de-prova de solo-cimento-cinza..... 75

Quadro 36... Variação dimensional dos tijolos..... 77

Quadro 37.... Valores médios da massa específica aparente dos tijolos de solo-cimento-fibra por ocasião da moldagem e após decorridas 72 horas... 78

Quadro 38... Resistência à compressão simples (MPa), aos 7, 28 e 60 dias, dos tijolos confeccionados com diferentes tratamentos de solo-cimento-fibra..... 81

Quadro 39... Resultados do ensaio de absorção de água dos tijolos confeccionados com solo-cimento-fibra..... 83

Quadro 40... Valores médios da massa específica aparente dos tijolos de solo-cimento-cinza por ocasião da moldagem e após decorridas 72 horas.. 84

Quadro 41.... Resistência à compressão simples (MPa), aos 7, 28 e 60 dias, dos tijolos confeccionados com diferentes tratamentos de solo-cimento-cinza..... 87

Quadro 42... Resultados do ensaio de absorção de água dos tijolos confeccionados com solo-cimento-cinza..... 88

Quadro 43... Resistência à compressão simples (MPa), aos 7, 28 e 60 dias, dos tijolos confeccionados conforme os tratamentos..... 91

Quadro 44... Resultados do ensaio de absorção de água dos tijolos referente aos tratamentos estudados..... 93

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1..... Fibras postas a secar ao ar durante 1 hora..... 35

Figura 2..... Material colocado nos moldes da máquina de fabricação de tijolos..... 40

Figura 3..... Tijolos prontos para serem retirados da máquina..... 40

Figura 4..... Tijolos com tratamentos T_1, T_2, T_3, e T_4..... 41

Figura 5..... Tijolos com tratamentos T_6, T_7, T_8, e T_9..... 41

Figura 6..... Corpos-de-prova de tijolos preparados para serem levados á prensa..... 42

Figura 7..... Corpo-de-prova de tijolo colocado na prensa para a realização do ensaio de resistência à compressão simples..... 42

Figura 8..... Corpo-de-prova de tijolo pronto para ser ensaiado à compressão..... 42

Figura 9..... Tijolos no ensaio de absorção de água..... 43

Figura 10... Secagem ao ar das cinzas recém-chegadas da Usina..... 45

Figura 11... Moinho de bolas, para pulverizar as cinzas de bagaço de cana-de-açúcar..... 46

Figura 12... Corpo-de-prova com combinações C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 e C_6 de cimento-cinza..... 48

Figura 13... Corpos-de-prova referentes aos tratamentos $T_{6,}$ T_7 e T_{10}..... 50

Figura 14... Tijolos referentes aos tratamentos T_5 e T_{10}..... 51

Figura 15... Teores de açúcar residual das fibras de bagaço de cana-de-açúcar..... 54

Figura 16... Porcentagem de absorção de água por fibras de bagaço de cana-de-açúcar 55

Figura 17... Composição granulométrica dos solos arenoso e argiloso..... 56

Figura 18... Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{máx}$) do ensaio de compactação aplicado aos diferentes tratamentos..... 58

Figura 19... Teor de umidade ótima (%) do ensaio de compactação aplicado aos diferentes tratamentos..... 58

Figura 20... Resistência à compressão simples (MPa), aos 28 e 60 dias, de corpos-de-prova confeccionados com diferentes misturas de solo-cimento-fibra..... 60

Figura 21... Absorção de água, em porcentagem, das misturas (tratamentos) de solo-cimento-fibra..... 62

Figura 22... Resultados das análises granulométricas das cinzas da Usina São José e da Usina Furlan..... 64

Figura 23... Peneiramento da cinza de bagaço de cana-de-açúcar a partir de uma amostra inicial de 5 kg sob diferentes tempos de moagem..... 65

Figura 24... Peneiramento da cinza de bagaço de cana-de-açúcar a partir de uma amostra inicial de 3 kg sob diferentes tempos de moagem..... 66

Figura 25... Resultados do ensaio de determinação da água da pasta de consistência normal..... 68

Figura 26... Resistência à compressão simples, aos 7 e 28 dias, de corpos-de-prova confeccionados com diferentes combinações de cimento Portland/cinza de bagaço de cana-de-açúcar..... 69

Figura 27... Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{máx}$) do ensaio de compactação das misturas (tratamentos) de solo-cimento-cinza..... 72

Figura 28... Umidade ótima (h_{ot}) do ensaio de compactação das misturas (tratamentos) de solo-cimento-cinza..... 72

Figura 29... Resistência à compressão simples (MPa), aos 28 e 60 dias, de corpos-de-prova confeccionados com diferentes misturas de solo-cimento-cinza..... 88

Figura 30... Absorção de água, em porcentagem, dos corpos-de-prova de solo-cimento-cinza..... 75

Figura 31... Tijolos com tratamentos T_1, T_2, T_3, T_4, T_6, T_7, T_8 e T_9..... 77

Figura 32... Massa específica dos tijolos de solo-cimento-fibra..... 78

Figura 33... Estado dos tijolos dos tratamentos T_3 e T_4 depois de 24 horas de imersão em água..... 80

Figura 34... Resistência à compressão aos 7, 28 e 60 dias, dos tijolos de solo-cimento-fibra..... 82

Figura 35... Porcentagem de absorção de água dos tijolos de solo-cimento-fibra..... 83

Figura 36... Massa específica dos tijolos com solo-cimento-cinza..... 85

Figura 37... Resistência à compressão aos 7, 28 e 60 dias, dos tijolos de solo-cimento-cinza..... 88

Figura 38... Porcentagem de absorção de água dos tijolos de solo-cimento-cinza..... 89

Figura 39... Tijolos referentes aos dez tratamentos definidos no presente trabalho... 90

Figura 40... Resistência à compressão aos 7, 28 e 60 dias, dos tijolos feitos conforme os tratamentos..... 92

Figura 41... Absorção de água dos tijolos referentes aos tratamentos estudados..... 94

RESUMO

No presente trabalho pesquisou-se o aproveitamento de dois resíduos sólidos da indústria sucro-alcooleira, a saber, fibras e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, para fins de obtenção de materiais alternativos de construção.

O objetivo principal foi estudar o efeito da adição de ambos os resíduos a dois tipos diferentes de solo, um arenoso e outro argiloso, melhorados com 3% de cimento, e, com a mistura, moldar tijolos cujas características físico-mecânicas foram determinadas em laboratório.

As fibras de bagaço de cana-de-açúcar passaram por um pré-tratamento que consistia de peneiramento, lavagem em água quente e "mineralização" com soluções de silicato de sódio e sulfato de alumínio. Após a definição dos teores de fibra que seriam empregados nas misturas de solo-cimento-fibra, foram as mesmas submetidas a ensaios de compactação, compressão simples e absorção de água.

Da mesma forma, as cinzas de bagaço de cana-de-açúcar passaram também por um tratamento prévio que consistia de peneiramento e moagem, antes de serem incorporadas às misturas de solo-cimento-cinza.

Diferentes combinações de cimento-cinza foram estudadas, determinando-se, para cada uma delas, a consistência normal e a resistência à compressão simples aos 7 e 28 dias.

Posteriormente, após a aplicação dos tratamentos às misturas de solo-cimento-cinza, foram elas submetidas aos mesmos ensaios aplicados às misturas de solo-cimento-fibra.

Por último, foram confeccionados tijolos com diferentes misturas de solo-cimento-fibra e de solo-cimento-cinza, os quais, depois de curados ao ar livre e à sombra, foram rompidos à compressão aos 7, 28 e 60 dias de idade, sendo ainda submetidos a ensaios de absorção de água.

Os resultados mostraram que, de um modo geral, tijolos moldados com misturas de solo-cimento-fibra se caracterizaram por apresentar baixos valores de resistência e altos valores de absorção de água, enquanto que as características de resistência e de absorção de água de tijolos confeccionados com misturas de solo-cimento-cinza pouca ou nenhuma influência sofreram pela incorporação de até 20% de cinzas na mistura.

SUMMARY

This work was done with the objective of studying two sugarcane residues, namely the bagasse fiber and bagasse ash, in order to obtain an alternative construction material.

The residues were added to both a sandy and a clayey soils reinforced with 3% of Portland cement. Adobe bricks then were manufactured with the mixtures being its physical and mechanical characteristics determined in laboratory conditions.

The depithed bagasse fiber was previously sieved, washed up in boiling water followed by a "mineralization" process using two inorganic salts: sodium silicate and aluminum sulfate.

The soil-cement-fiber mixtures made with different proportions of sugarcane bagasse fibers were submitted to compaction tests, unconfined compression and water absorption tests.

On the other hand, sugarcane bagasse ash pre-treatment included both sieving and grinding. Different proportions of cement-ash were tested by determining for each one the water/cement ratio and the compressive resistance at 7 and 28 days age.

The various treatments were subsequently applied to the soil-cement-ash mixtures which in turn were submitted to the same laboratory testings as the soil-cement-fiber mixtures did.

Adobe bricks were latter manufactured in a manpowered machine using both the soil-cement-fiber and the soil-cement-ash mixtures. The adobe brick specimens were submited to compression after 7, 28 and 60 days aging, being the others ones carried on water absorption tests.

As a whole, results showed that the soil-cement-fiber bricks presented low strength values and high water absorption capacity. Otherwise, the soil-cement-ash brick's compressive resistance and water absorption capacity were not affected by the addition of ash up to 20% in the mixture.

1. INTRODUÇÃO

A habitação constitui uma das mais importantes necessidades básicas do homem, apelo tanto maior quanto mais desfavorecida for a população; trata-se, sem dúvida alguma, de um problema de difícil solução, uma vez que os custos da terra e da construção quase sempre são inacessíveis aos trabalhadores de baixa renda, quer nas áreas rurais, quer nas urbanas.

Muitos governos têm se empenhado em melhorar o nível de vida da população marginalizada, abrindo para ela linhas de crédito especiais, desenvolvendo programas habitacionais compatíveis com sua realidade social, estimulando a auto-construção, etc.

Dessa forma, a construção de edificações de baixo custo representa, atualmente, uma das maiores prioridades no ramo da construção.

A crise econômica pela qual atravessam países em desenvolvimento tem forçado os pesquisadores a resgatarem todas as técnicas e materiais que possam oferecer soluções apropriadas para a construção de moradias de interesse social.

Dentro deste contexto, o aproveitamento de resíduos agroindustriais, fonte inesgotável de recursos, tem se despontado como alternativa das mais promissoras quando voltado à obtenção de novos materiais de construção.

A terra, por outro lado, é um dos materiais mais abundantes no planeta, de tal sorte que sua utilização, como material de construção, remonta aos tempos mais primitivos.

A prática de se misturar barro com fibras vegetais para depois moldá-las na forma de tijolos ou blocos, é uma das muitas técnicas de construção com terra conhecidas pelo homem desde a antigüidade.

Alvenarias construídas com tijolos e blocos de adobe ainda hoje permanecem erguidas, 4000 anos após terem sido edificadas. Tijolos feitos pelos romanos, há 2000 anos

atrás, continuam em uso até os dias de hoje. Adobes datando do século XV foram encontrados em Picardie, França, em perfeitas condições de conservação, comprovando assim a durabilidade do material, desde que ao abrigo da água.

Podendo ser usada como "argamassa" de consistência plástica ou compactada para formar tijolos ou blocos de adobe, a terra é ainda hoje empregada na construção de fundações, paredes, pisos e tetos.

Modernamente se adota a prática de estabilizar o solo com aditivos químicos, tais como o cimento, a cal, o DS-328, o CON-AID, a borra de carbureto, cinzas volantes, escórias de alto-forno e materiais pozolânicos em geral, com a finalidade de se obter tijolos e blocos, não apenas mais resistentes, mas, também, de maior estabilidade volumétrica, maior durabilidade e menores permeabilidade e compressibilidade.

É dentro desta linha de pesquisa que se situa o presente trabalho, com a finalidade de se pesquisar o efeito da adição ao solo de resíduos agroindustriais, a saber: cinza e fibras de bagaço da cana-de-açúcar e, com a mistura, moldar tijolos que terão suas características físico-mecânicas determinadas em laboratório e avaliadas tecnicamente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ao definirem a metodologia básica a ser seguida no desenvolvimento de um sistema construtivo qualquer, **MITIDIERI FILHO** e **CAVALHEIRO (1986)** propuseram os seguintes passos:

- considerações iniciais a respeito do uso e tipologia da edificação a que se destina o sistema, do material básico do sistema e estágio de desenvolvimento da construção com tal material, da população a ser atendida, dos usuários potenciais, dos recursos locais disponíveis, e da caracterização das condicionantes regionais;
- caracterização do potencial técnico-econômico do sistema construtivo;
- concepção do sistema construtivo;
- anteprojeto dos componentes a serem empregados no sistema construtivo;
- desenvolvimento eventual de componentes básicos;
- produção experimental de protótipos dos componentes;
- realização de ensaios exploratórios;
- anteprojeto do sistema construtivo;
- desenvolvimento do sistema de produção dos componentes;
- produção de protótipos dos elementos e/ou da edificação;
- avaliação de desempenho do sistema construtivo;
- projeto do sistema construtivo;
- anteprojeto incorporado das modificações julgadas necessárias;
- implantação - piloto do sistema construtivo;
- elaboração de manuais de produção/fabricação, montagem, manutenção e controle da qualidade.

Na definição dessa metodologia, os autores chamaram a atenção para o fato de que ela abrange, de forma geral, diversas etapas, não necessariamente em ordem cronológica de acontecimento, uma vez que algumas delas têm caráter de pré-requisito, e outras se desenvolvem relacionadas ou paralelamente entre si, em função da especificidade de cada sistema.

No que se refere a novos materiais, **Monteiro**, citado por **FREITAS (1995)**, afirmou que, sob o ponto de vista tecnológico, os novos materiais, além de apresentarem características inovadoras e propriedades excepcionais, devem possuir, ainda, alto conteúdo tecnológico, economia de energia e otimização no uso de matérias-primas e insumos.

2.1. A CONSTRUÇÃO COM TERRA

As construções podem ser feitas completa ou parcialmente de terra, dependendo fundamentalmente da sua localização, do clima, dos recursos disponíveis, do custo e do uso que se fará das mesmas, podendo as paredes ser erguidas de forma monolítica ou não, neste último caso utilizando-se elementos construtivos como tijolos, blocos ou painéis.

Os solos que não possuem as características desejadas para um determinado tipo de construção podem ser melhorados acrescentando-se a eles um ou mais estabilizadores.

Cada estabilizador deve atender a uma ou duas das seguintes condições:

- aumentar a resistência à compressão ou ao impacto da construção e também reduzir sua tendência à expansão e contração, mantendo unidas as partículas do solo;
- reduzir ou eliminar a absorção de água (que causa inchamento, retração e abrasão) selando todos os orificios e cobrindo as partículas de água com uma capa impermeável;
- reduzir o agretamento logrando flexibilidade, o que permite ao solo estirar-se e contrair-se até certos limites;
- reduzir a excessiva expansão e contração quando os solos são reforçados com materiais fibrosos.

Pode-se construir blocos resistentes e estáveis dimensionalmente, compactando, em condição ligeiramente úmida, um solo de boa granulometria, com um conteúdo de argila entre 10 e 25% em peso.

As vantagens de se construir com blocos de solo estabilizado, comparadas a outras técnicas, são:

- maior resistência à água;
- resistência à compressão mais elevada;
- possibilidade de transporte manual imediatamente após sua fabricação;
- requer pouco espaço para secagem e armazenagem, o que permite empilhamento imediato logo após fabricação;
- redução de custo, materiais e energia;
- menor custo de produção para volumes equivalentes de tijolos e blocos de concreto.

Os solos mais apropriados para produzir blocos estabilizados devem ter teor de areia de até 75% e um mínimo de 10% de argila, ambas as porcentagens referidas em peso.

Para a preparação do solo é necessário passá-lo pela peneira de 5 mm. A mistura deve ser aplicada nos moldes e os aditivos incorporados a seco. Se o aditivo for usado como estabilizante, a cura pode ser completada em apenas 5 dias.

2.2. TIJOLOS E BLOCOS DE ADOBE

Conhecido desde o período neolítico, o adobe, segundo **BUYLE-BODIN et al. (1990)**, é confeccionado com um teor de água de amassamento elevado, da ordem de 20 a 40%, e com uma porcentagem em volume de palha usualmente da ordem de 50% em relação à quantidade de terra úmida, resultando em aproximadamente 3% de fibras em peso.

De acordo com Calame, citado por **BUYLE-BODIN et al.. (1990),** o adobe tradicional apresenta as seguintes características:

- 1/20 da resistência à compressão e 1/5 da resistência à tração, em média, de um concreto dosado à razão de 300 kg de cimento por m^3;
- módulo de Young entre 200 e 300 MPa;
- condutibilidade térmica ao redor de 0,7 W/mK;
- fissuração e retração excessivas;
- desprendimento do revestimento à base de cimento;
- apodrecimento das fibras vegetais.

BUYLE-BODIN et al. (1990) afirmaram, ainda, que adobes modernos, produzidos industrialmente, precisam ser estudados sob o ponto de vista científico, técnico e econômico, e devem ser pesquisados quanto às seguintes características: proteção contra as intempéries, elasticidade, permeabilidade à água, resistência à abrasão, resistência a choques térmicos, aderência a suportes e estética. É necessário, previamente à sua confecção, determinar o teor de argila de solo; definir a quantidade de areia a se adicionar ao solo para corrigir o teor de argila, que não deve ser superior a 18%; estudar a influência do diâmetro, comprimento e natureza das fibras sobre o produto resultante; pesquisar a eventual e às vezes necessária estabilização com produtos adequados.

Estes mesmos autores mencionados pesquisaram técnicas modernas de fabricação de adobes e concluíram que:

- a adição de palha parece ter alguma influência sobre a resistência mecânica à compressão, influência esta menos benéfica à medida que o teor de cimento aumenta;
- sem a adição de palha, o comportamento do adobe à ruptura é do tipo frágil e, com palha, distintamente mais dúctil;
- a resistência à compressão é um parâmetro secundário em comparação com a elasticidade e permeabilidade ao ar;
- os imperativos elasticidade e permeabilidade ao ar excluem o uso de aglomerantes hidráulicos como estabilizadores de adobes;
- a durabilidade do produto depende quase que integralmente do revestimento superficial e da proteção contra a ação da água de chuva.

O **U.S.D.A. (1965),** Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América, divulgou uma técnica de fabricação de blocos de adobe feitos com solo barro-argiloso, palha e água, e blocos de terra estabilizada feitos com solo barro-argilo-arenoso, cimento Portland e água, ou solo barro-argilo-arenoso, emulsão betuminosa e água.

Os blocos, de 10 x 15 x 30 cm, apresentaram as seguintes vantagens: (1) a maioria dos materiais utilizados para a sua confecção era material disponível a baixo ou mesmo nenhum custo; (2) as paredes ficaram fortes, duráveis e resistentes ao fogo; (3) as paredes maciças mantinham uma temperatura confortável no interior da construção. As seguintes desvantagens estavam associadas a estes materiais: (1) deterioravam-se sob contato prolongado com a água e (2) exigiam grandes fundações. Paredes portantes construídas

com blocos de adobe devem ter espessura mínima de 30 cm e, em se tratando de moradias, uma altura não superior a oito vezes sua espessura; em alguns casos, essa relação pode chegar a doze vezes. Paredes de blocos de terra não revestidas duram de 25 a 40 anos, em clima árido, se o topo e a base forem protegidos contra a umidade.

Trabalhando com o que denominaram de "adobes manuais", ou seja, adobes moldados em fôrmas, sem prensagem, **LAVINSKY et al. (1991)** pesquisaram três solos cujos teores de argila eram iguais a 22, 35 e 35% (teores de silte mais argila iguais a 60, 54 e 57%, respectivamente), e com eles moldaram blocos de 7 x 11 x 23 cm e 10 x 11 x 23 cm, com um teor de água de amassamento igual a 40%, em volume, em relação à massa do solo, secando-os em três condições diferentes: à sombra, ao sol (com proteção de PVC) e em secador de cacau.

O período de secagem ao sol e à sombra foi de 27 dias; a secagem em secador de cacau foi de 3 dias, após 20 dias de secagem à sombra. Após submeterem blocos inteiros a ensaios de compressão simples, cujos resultados estão registrados no Quadro 1, os autores concluíram que a condição de secagem não teve efeito significativo na resistência à compressão, salvo no caso do solo I (menos arenoso), para o qual a secagem em secador de cacau permitiu alcançar maior valor de resistência à compressão simples. O solo III, por sua vez, apresentou o menor valor de perda de material por escovação, nos ensaios de durabilidade, indicando menor grau de erodibilidade que os demais. Por outro lado, os blocos de adobe manuais não resistiram ao teste de absorção de água, tal como concebido para o solo-cimento (**NBR 10836**).

Quadro 1. Resistência à compressão de blocos de adobe, em kgf/cm^2, e perda por escovação no ensaio de durabilidade (*)

Tipo de material	Condições de secagem				Perda por escovação (%)
	Ao sol	À sombra	Em secador de cacau	Média	
Solo I	4,49	5,12	5,22	4,97	2,8
Solo II	5,91	5,34	5,60	5,60	2,3
Solo III	5,33	5,54	5,55	5,48	1,2
Solo-cimento (1:20)	---	---	---	3,89	8,6

Fonte: **LAVINSKY et al. (1991)**
(*) 10 escovações da face com 7 x 23 cm, com escova de pelos de aço, sob pressão de 2 kg

NEVES (1995) relatou que, na fabricação de adobes, a palha é sempre adicionada em volumes apropriados aos diferentes tipos de solo, sendo a palha, um material característico da zona rural, provavelmente devido à necessidade de grandes áreas de secagem e armazenamento. No caso de blocos prensados, seu emprego é mais evidente na área urbana, constituindo um sistema basicamente semi-industrial.

FIORAVANTI (1984) reportou que o tijolo prensado, também chamado de não cozido, feito na própria obra utilizando-se de uma prensa manual e empregando-se qualquer tipo de solo (salvo a terra preta vegetal) estabilizado com 3 a 4% de cimento e cal, pode ser usado, dois dias depois da prensagem, em paredes, tetos e outros. Sua resistência é mais de dez vezes maior que a do tijolo do tipo comum e seu preço, quatro vezes menor. Onze tipos diferentes de tijolos prensados puderam ser feitos a partir de uma fôrma básica, mudando-se apenas as peças do molde; tais tijolos, usados no erguimento de paredes, são colados uns nos outros com pingos de uma cola branca de cerâmica, ao invés de assentados com a tradicional argamassa de cimento, cal e areia. A técnica construtiva empregada, além de simples, é barata, permitindo a construção de uma casa pela metade do preço de uma tradicional.

SILVEIRA (1995) chamou a atenção para o fato de que a produção de tijolos em prensas permite perfeita coordenação modular e alto desempenho técnico. Para este autor, qualquer tentativa de industrialização deverá ser feita com perfeito controle de qualidade e alta tecnologia, caso contrário a sobrevivência industrial no atual mercado competitivo estará seriamente comprometida.

Infelizmente, a utilização do adobe no Brasil, principalmente em regiões pobres como o Vale do São Francisco e o Vale do Jequitinhonha, se dá, de acordo com **ALVARENGA (1995),** de forma empírica, sem controle dos materiais, sendo a mistura feita "a olho", no dizer dos construtores. Eventualmente se utiliza o capim gordura e estrume fresco de gado para tentar melhorar a qualidade do material.

2.3. TIJOLOS E BLOCOS DE SOLO-CIMENTO

Entendendo a estabilização dos solos com cimento como uma alternativa tecnológica para a habitação popular, dentro de certos limites, **ABIKO (1984)** ponderou

que, "do ponto de vista da organização social do trabalho, a fabricação deste material pode possibilitar uma integração dos indivíduos em torno da produção, permitindo que os resultados e os produtos permaneçam na comunidade".

Por ser diferente do tijolo cerâmico tradicional, o assentamento e o revestimento de tijolos de solo-cimento com argamassas tradicionais devem ser feitos de forma cuidadosa, tendo em vista as diferentes características de absorção de água e de variação dimensional dos tijolos de solo-cimento.

Para a **ABCP (1985)**, tijolos de solo-cimento apresentam as seguintes vantagens:

- podem ser produzidos com o próprio solo local e no canteiro de obras;
- requerem argamassa de assentamento e de revestimento de espessura mínima e uniforme;
- podem dispensar o uso de revestimento, desde que protegidos da ação direta da água;
- não consomem combustível na fabricação, por dispensarem a queima;
- utilizam, basicamente, mão-de-obra não especializada.

Os solos mais adequados para a fabricação de tijolos de solo-cimento são, segundo a **ABCP (1985)**, os que possuem as seguintes características:

- porcentagem passando na peneira ABNT 4,8 mm (n^o 4): 100%;
- porcentagem passando na peneira ABNT 0,075 mm (n^o 200): 10 a 50%;
- limite de liquidez: ≤ 45%;
- índice de plasticidade: ≤ 18%.

Os tijolos de solo-cimento devem ser prensados, curados à sombra durante sete dias, e ensaiados de acordo com a norma **NBR 08492** (Tijolo maciço de solo-cimento. Determinação da Resistência à Compressão) da Associação Brasileira de Normas Técnicas, para determinação da resistência à compressão e da absorção de água. As condições específicas para aceitação do material estão registradas na norma **NBR 08491** (Tijolo maciço de solo-cimento) que estabelece como valor mínimo, para a média dos valores de resistência à compressão, 2,0 MPa, com idade mínima de 7 dias, sendo que nenhum valor individual deve ser inferior a 1,7 MPa; a média dos valores de absorção de água, por outro lado, não deve ser maior que 20% de seu volume, assim como nenhum valor individual deve ser superior a 22%.

Por sua vez, **ASSIS (1995)** descreveu a fabricação de blocos de solo-cimento chamados "tijolitos", com detalhes especiais, de modo a permitir a eliminação de argamassa de assentamento pelo relacionamento dos mesmos, conseguido às custas de encaixes tipo macho e fêmea.

2.4. TIJOLOS DE SOLO-CAL

A adição de cal ao solo provoca floculação de suas partículas e, conseqüentemente, alterações nas suas propriedades geotécnicas, as quais, de acordo com **PICCHI et al. (1987)**, são as seguintes: aumento do limite de plasticidade e diminuição do limite de liquidez e do índice de plasticidade; achatamento das curvas de compactação, com aumento do teor de umidade ótima e diminuição do peso específico aparente seco máximo, além de aumento da resistência, durabilidade e estabilidade volumétrica. Pesquisando a fabricação de tijolos de solo-cal, os autores tomaram amostras dos horizontes B textural e B latossólico de um solo Terra Roxa Estruturada e as trataram com diversos teores de cales cálcica e dolomítica; com essas misturas e com o auxílio de uma prensa manual, foram confeccionados tijolos os quais foram submetidos a dois processos diferentes de cura: a cura úmida (25^{o}C e 100% U.R.) e a cura térmica (40^{o}C e 100% U.R.). Os tijolos foram, então, ensaiados em laboratório, e os resultados permitiram aos autores concluir que: (1) nos dois tipos de cura, a cal cálcica manteve resultados superiores; (2) para ambos os tipos de cal, a cura úmida mostrou-se melhor; (3) a resistência do tijolo cresce com o teor de cal, mas apresenta um pico em 10%, para tempo de cura de 28 dias; (4) a absorção de água diminui ligeiramente com o teor de cal e com curas úmidas e térmicas; (5) a variação dimensional dos tijolos de solo-cal é bastante baixa, significando um bom comportamento do tijolo na alvenaria.

A adição de 10% de cales cálcica e magnesiana a um solo laterítico foi pesquisada por **GUIMARÃES (1985)**, visando a fabricação de tijolos de solo-cal moldados em prensa manual, com um teor de umidade superior à ótima de compactação. Após prensagem, os tijolos foram curados ao abrigo de chuvas intensas por um período de três dias e por mais de sete dias expostos às intempéries, sendo umedecidos ligeiramente uma vez por dia. Painéis de tijolos de solo-cal magnesiana, de 1,4 x 0,45 x 2,1 m^3, foram construídos,

assentados com argamassa mista de traço 1:2:9, e revestidos de diferentes formas, a saber: (1) pintura com nata de cimento; (2) pintura com tinta látex; (3) chapisco com argamassa mista de traço 1:1:6; (4) revestimento com argamassa mista de traço 1:2:9. Expostos às intempéries, os painéis se mostraram sem defeitos, quatro anos após sua execução, quer revestidos ou não. Ensaiados à compressão, os tijolos apresentaram resistências da ordem de 8,6 - 9,4 - 20,7 kgf/cm^2 aos 30 -120 -180 dias de idade, respectivamente, para a série cálcica com 10% de cal hidratada, e resistência de 6,9 a 18,0 kgf/cm^2, para as mesmas idades, para a série magnesiana com 10% de cal hidratada. Pelo fato de os tijolos de solo-cal sofrerem apenas os encargos referentes à coleta do solo, aquisição ou preparo da cal hidratada, mistura, moldagem e cura, o custo do tijolo solo-cal foi avaliado por **GUIMARÃES (1985)** como sendo pouco mais que a metade do custo do tijolo cerâmico cozido.

2.5. TIJOLOS REFORÇADOS COM FIBRAS E OUTROS MATERIAIS

O uso de fibras de sisal e de côco como reforço de adobes foi pesquisado por **TOLEDO FILHO et al. (1990).** Os autores adicionaram 4% de fibras de côco (comprimentos de 6,5 e 12,0 cm) e 4% de fibras de sisal (comprimentos de 6,5, 12,0 e 50,0 cm) em volume, a três diferentes tipos de solo (teores de argila aproximadamente iguais a 50, 20 e 8%, respectivamente) e com eles moldaram corpos-de-prova cilíndricos, de 9,38 cm de diâmetro x 12,34 cm de altura, os quais foram submetidos a ensaios de compressão simples, com medida de deformações. As características principais das fibras vegetais utilizadas, estão descritas no Quadro 2.

Os autores submeteram as fibras, também, a um tratamento impermeabilizante utilizando os produtos químicos líquidos Piche e Cipla; as fibras vegetais foram deixadas a secar durante dois dias, antes de serem mergulhadas, por alguns segundos, nos produtos impermeabilizantes. Após intervalos de tempo pré-determinados, as fibras tratadas foram pesadas imediatamente após serem mergulhadas em água potável. Baseados nos resultados dos ensaios, os autores concluíram que a resistência à tração das fibras de sisal é muito maior e sua deformação na ruptura muito menor, quando comparada com as fibras de côco; surpreendentemente, a absorção de água das fibras de sisal é muito maior que a das fibras de côco.

Quadro 2. Características das fibras estudadas

Parâmetros		Fibras de sisal	Fibras de côco
Umidade natural (%)		14,6	14,3
Peso específico aparente (kN/m^3)		7,6	10,6
Absorção de água (%) em:	24 h	193	109
	48 h	199	110
	72 h	220	118
	96 h	215	128
Variações dimensionais (%), longitudinais e transversais, devido à absorção de água, em:	24 h	1,2 - 29,7	1,2 - 11,7
	48 h	1,2 - 35,1	1,2 - 11,7
	72 h	1,2 - 35,1	1,2 - 11,7
	96 h	1,2 - 35,1	1,2 - 11,7
	168 h	1,6 -33,1	1,2 - 13,9
Resistência à tração (MPa), para fibras de comprimentos iguais a 6,5 e 12,0 cm		535 - 539	140 -112
Deformação na ruptura (%), para fibras de comprimentos iguais a 6,5 e 12,0 cm		7,7 - 3,6	19,9 - 15,7

Fonte: **TOLEDO FILHO et al. (1995)**.

Com relação ao tratamento impermeabilizante das fibras, o produto piche mostrou-se mais eficiente do que o Cipla. A incorporação de fibras vegetais melhorou sensivelmente as características de ruptura dos adobes obtidos, tornando-os materiais extremadamente dúcteis e assumindo grandes deformações na ruptura, da ordem de 10% para o solo reforçado com fibras de côco (tensão máxima de aproximadamente 2,2 MPa) e de 20% para o solo reforçado com fibras de sisal (tensão máxima de aproximadamente 2,6 MPa).

Sobre a utilização de fibras de bagaço de cana-de-açúcar desmedulado na confecção de tijolos e blocos vazados não há, ainda, literatura disponível sobre o assunto.

2.6. BLOCOS CONFECCIONADOS COM RESÍDUOS AGRÍCOLAS

O sistema de construção de muros com blocos à base de resíduos agrícolas desenvolvido pelo **RENAS-BMTCS (1984)**, nas Filipinas, tem as seguintes características:

- baixo custo, pelo uso de materiais residuais;
- boa estabilidade dimensional;
- necessidade de algum conhecimento básico de construção;

- os equipamentos necessários são moldes manuais de madeira e ferramentas de alvenaria;
- boa resistência sísmica e a furacões;
- a resistência às chuvas depende do grau de sua estabilização;
- resistência média ao ataque de insetos;
- adaptabilidade ao clima (todos eles, exceto os muito úmidos).

Este sistema construtivo utiliza blocos vazados de solo-cimento que contêm uma certa quantidade de areia de praia e resíduos agrícolas, tais como: casca de arroz, pó de serra e partículas de côco. O teor de umidade necessário para se proceder à mistura das matérias-primas é determinado de forma semelhante à do solo-cimento. A mistura é vertida manualmente nos moldes de madeira, nivelada e compactada. Após, os blocos desmoldados são dispostos sobre sua menor face. Tais blocos, são de $10 \times 20 \times 40$ cm^3, com três orifícios retangulares, são curados durante um período de 10 dias.

As alvenarias são construídas de forma semelhante à alvenaria de blocos vazados de concreto, conseguindo-se, com estes materiais, construir prédios extremadamente rígidos, preenchendo os orifícios com concreto armado.

2.7. TIJOLOS E BLOCOS CERÂMICOS

Ultimamente, grandes avanços tecnológicos foram verificados na construção civil com o aparecimento de novos produtos e novos sistemas construtivos, apoiados no desenvolvimento de tijolos e blocos cerâmicos das mais variadas formas e tamanhos.

De acordo com a **ILO (1990)**, ou seja, a International Labour Organization, com sede em Genebra, Suíça, tijolos adequadamente feitos estão entre os mais duráveis dos materiais, apresentando propriedades típicas dos materiais cerâmicos, tais como, boa resistência mecânica, resistência à abrasão, à luz do sol, ao calor e à água; excelente resistência ao ataque de produtos químicos, de insetos e de bactérias, etc., e, por terem sido expostos ao fogo, estão menos sujeitos a sofrerem danos do que o concreto e os tijolos sílico-calcários.

No Quadro 3, estão apresentadas algumas características dos blocos cerâmicos comparadas com as dos blocos sílico-calcários e de concreto.

Quadro 3. Características dos blocos empregados em alvenaria estrutural (Bessey, citado por **SABBATINI, 1985**).

Características	Blocos sílico-calcários	Blocos cerâmicos	Blocos de concreto
Resistência à compressão (MPa)	10 - 55	20 - 60	7 - 50
Retração na secagem (% do comprimento)	0,01 a 0,035	0,00 a 0,015	0,02 a 0,05
Condutibilidade térmica (W/m.K)	1,1 a 1,6	0,7 a 1,3	1,0 a 1,790
Durabilidade sob condições severas de exposição (naturais)	Boa a moderada	Excelente a muito pobre	Boa a pobre
Resistência ao fogo	Boa	Muito boa a moderada	Boa a pobre
Propriedades que afetam o assentamento e o revestimento	Boa	Boa a pobre	Boa
Risco de eflorescências	Nenhum	De nenhum a severo. Muito comum	Nenhum a leve
Peso específico aparente (kg/dm^3)	1,6 a 2,1	1,4 a 2,4	1,7 a 2,2

Fonte: **SABBATINI (1985)**

MITIDIERI FILHO e CAVALHEIRO (1986) reportam que a origem dos materiais cerâmicos remonta há 5000 A.C., na Mesopotâmia, quando os tijolos feitos de adobe já eram solidificados ao sol; a partir de 3000 A.C. surgiram os primeiros fornos para a sua queima. Conforme estes mesmos autores, foi somente entre os anos 1850 e 1860 que foi inventada a primeira "máquina modeladora" de tijolos, por Frederico Schlickeysen, acionada por um cavalo, e com produção de 1500 peças por dia.

SANTOS e SILVA (1995), ensaiando tijolos e blocos cerâmicos de várias formas e tamanhos, ou seja, tijolos maciços e tijolos com 21 orifícios (dimensões de 5,7 x 9 x 19 cm^3), blocos com 6 furos para alvenaria aparente ou revestida (dimensões de 14 x 9 x19 cm^3) e blocos com 4 furos para alvenaria aparente ou revestida (dimensões de 9 x 9 x 19 cm^3), submetera-os a ensaios de compressão de acordo a **NBR 07170** (Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria) e **NBR 06461** (Bloco de Cerâmico para Alvenaria-Verificação da Resistência à Compressão), ensaios de absorção de acordo a **NBR 08947** (Telha Cerâmica- Verificação da Massa e da Absorção de Água) e ensaios de sucção (ASTM C-67), cujos resultados estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4. Características de resistência mecânica e comportamento de tijolos e blocos frente à absorção e sucção de água.

Material	Resistência à compressão, média (MPa)	Absorção de água, média (%)	Sucção, média (g/193,55 cm^2/min)
Tijolos maciços	26,28	16,44	25,56
Tijolos de 21 furos	13,66	15,02	16,24
Blocos de 6 furos, aparentes	3,02	15,31	13,94
Blocos de 6 furos, reboco	1,61	17,20	16,79
Blocos de 4 furos, aparentes	2,44	15,19	13,06
Blocos de 4 furos, com reboco	1,52	17,21	19,42

Fonte: **SANTOS e SILVA (1995)**

Concluíram os autores que tanto os tijolos como os blocos cerâmicos atendem às normas no que diz respeito à resistência à compressão simples (mínima aceitável de 1,5 MPa para os tijolos e de 1,0 MPa para os blocos), à absorção de água (mínima de 8% para blocos cerâmicos e máxima de 25%) e sucção, ou seja, o grau de avidez de água por parte dos tijolos ou blocos, indicativo da tensão de aderência (taxa de absorção máxima ao redor de 30 g por 193,55 cm^2 por minuto).

ABIKO (1984) preparou um Memorando Técnico sobre fabricação de tijolos de barro cozidos, em pequena escala, no qual compara as características do tijolo de barro cozido com as de outros materiais de construção. Mesmo tendo sua resistência à compressão variando enormemente em função do tipo de argila e do processo de produção, as características de resistência mecânica dos tijolos de barro cozido satisfazem plenamente às exigências construtivas de uma casa térrea. Em comparação, tijolos sílico-calcários podem apresentar resistências semelhantes às dos tijolos de barro cozido, embora apresentem, também, algumas desvantagens como a necessidade de máquinas de alto custo usadas para a mistura, prensagem e auto-clavagem dos materiais, além de se viabilizarem apenas quando produzidos em larga escala. Tijolos e blocos de concreto, e blocos de concreto leve, feitos com agregados leves naturais ou artificiais, têm suficiente resistência mecânica mas requerem cimento para a sua confecção, o que constitui alguma desvantagem. Concretos areados, embora apresentem baixa resistência, são também usados na construção de moradias, exigindo, no entanto, um controle de produção bastante cuidadoso para evitar posterior contração dos blocos feitos com este material. Muitos tipos de solo apresentam notável resistência à compressão quando secos; saturados com água, tal

resistência se reduz consideravelmente. Para superar este inconveniente, costuma-se tratar o solo com aditivos impermeabilizantes, como o betume, ou com estabilizadores químicos, como a cal e o cimento. Blocos de gesso, quando molhados, perdem 50% da sua resistência à compressão em relação à resistência a seco.

No Quadro 5, a **ILO (1990)** resume algumas características e propriedades de tijolos e blocos, destacando-se dentre eles os tijolos de barro cozido como aqueles que apresentam melhor qualidade, especialmente quando molhados. Chama a atenção, também, o fato de que os tijolos de barro cozido estão entre os mais densos materiais de construção; embora isto represente uma desvantagem ao se transportá-los a longas distâncias ou ao se edificarem casas de vários pavimentos, os tijolos de elevada massa específica aparente têm a vantagem, sobre os demais, de apresentar maior capacidade térmica, melhorando consideravelmente as condições ambientais dentro da construção. Concretos aerados ou concretos de agregados leves, conquanto apresentem boas propriedades de isolamento térmico, ressentem-se de capacidade térmica, enquanto que paredes espessas de barro apresentam isolamento térmico razoavelmente bom e boa capacidade térmica.

Quadro 5. Algumas características e propriedades de tijolos e blocos**.**

Propriedades	Tijolos de barro cozidos	Tijolos sílico-calcários	Blocos de concreto adensados	Blocos de concreto aerado	Blocos de concreto leve	Blocos de solo estabilizado
Resistência à compressão na condição úmida (MPa)	10 a 60	10 a 55	7 a 50	2 a 6	2 a 20	1 a 40
Retração na secagem (%)	0 a 0,02	0,01 a 0,035	0,02 a 0,05	0,05 a 0,10	0,04 a 0,08	0,02 a 0,2
Peso específico aparente (g/cm^3)	1,4 a 2,4	1,6 a 2,1	1,7 a 2,2	0,4 a 0,9	0,6 a 1,6	1,5 a 1,9
Condutibilidade térmica (W/m^oC)	0,7 a 1,3	1,1 a 1,6	1,0 a 1,7	0,1 a 0,2	0,15 a 0,7	0,5 a 0,7
Durabilidade sob exposição natural severa	Excelente a muito pobre	Boa a moderada	Boa a pobre	Boa a moderada	Boa a pobre	Boa a muito pobre

Fonte: **ILO (1990)**

O chamado "bloco inteligente", inventado por **ANDRADE (1992)**, é um bloco cerâmico, vazado, portante, com sistema de encaixe tipo macho e fêmea, simplesmente encaixados uns nos outros, salvo os blocos da primeira fiada que são assentados com argamassa. As instalações elétricas e hidráulicas passam pelos orifícios dos blocos que ficam coincidentes na vertical e, segundo seu inventor, este sistema construtivo permite elevar a produtividade da mão-de-obra obra e reduzir as perdas a menos de 5%.

Uma calha especial tipo fêmea é usada para concretar as vergas e vigas, assim como os blocos de canto são usados como fôrmas de pilares, passando a ferragem pelos vazados dos blocos. A carga estrutural é consideravelmente reduzida; a mão-de-obra de carpinteiros, madeiras e pregos, necessários à execução de cintas, vigas e vergas, é totalmente dispensada; a construção de habitação é mais rápida, reduzindo substancialmente a mão-de-obra direta e indireta, o cronograma de atividades e, conseqüentemente, os custos financeiro e final da obra.

Os tijolos são, também, usados para a fabricação de painéis cerâmicos, elementos de alvenaria pré-fabricados que empregam tijolos maciços ou blocos vazados, sendo utilizados, segundo **MITIDIERI FILHO e CAVALHEIRO (1986)**, tanto para paredes como para lajes de edificações térreas, prédios de apartamentos, edifícios públicos, etc., em formas e dimensões as mais variadas. Estes mesmos autores relataram que o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) vem desenvolvendo, desde a década dos anos 80, painéis pré-moldados fabricados com blocos cerâmicos vazados, sendo tal iniciativa baseada nas seguintes constatações: (1) o sistema construtivo em painéis cerâmicos pode atingir elevado nível de industrialização; (2) o sistema é baseado no emprego de material cerâmico, material de boas qualidades estruturais, térmicas e durabilidade; (3) o parque industrial ceramista nacional possui capacidade instalada capaz de atender à demanda; (4) a indústria cerâmica constitui uma atividade produtiva de grande importância e quase que genuinamente nacional.

Os painéis cerâmicos desenvolvidos pelo IPT, fabricados com blocos cerâmicos vazados, são moldados em fôrmas fixas de madeira com laterais removíveis para os painéis/laje e fôrmas móveis para os painéis/paredes, com molduras e nervuras de concreto armado, modulados horizontal e verticalmente.

2.8. BLOCOS SÍLICO-CALCÁRIOS

Para **SABBATINI (1985)**, bloco sílico-calcário é uma unidade de alvenaria composta por uma mistura homogênea e adequadamente proporcionada de cal e areia quartzosa, moldada por prensagem e curada por vapor a alta pressão, e difere do tijolo sílico-calcário apenas dimensionalmente.

De origem relativamente recente (a primeira patente mundial foi de Van Derburgh, na Inglaterra, em 1866), os blocos sílico-calcários são confeccionados com 5 a 9% de cal virgem em pó, em relação à quantidade de areia quartzosa. O processamento industrial, segundo **SABBATINI (1985)**, inicia-se com a mistura da cal e areia, num pré-misturador, onde em seguida é adicionada a água, sendo a mistura final homogeneizada e transportada até os reatores (silos verticais isolados termicamente e aquecidos por vapor de água). Nestes reatores processa-se a completa hidratação da cal, entre 4 e 8 horas, sendo a argamassa conduzida aos pós-misturadores, onde novamente é homogeneizada. Levada, então, às prensas hidráulicas, os blocos são moldados sob pressão de 10 a 45 N/mm^2, conduzidos à autoclave (vasos cilíndricos horizontais de 25 a 30 m de comprimento e 2,0 a 2,5 m de diâmetro, hermeticamente fechados) onde, sob pressão de vapor d'água injetado à razão de 0,8 a 1,5 N/mm^2 (8 a 15 atm), se dá a cura do produto, entre 4 a 8 horas, ocorrendo a formação dos hidrossilicatos de cálcio nos blocos, responsáveis pelo endurecimento e cor branca do produto final.

Ao final, o bloco sílico-calcário nada mais é do que um esqueleto granular de areia cimentado por silicatos de cálcio hidratados, com formatos e dimensões os mais variados, caracterizando-se por apresentar, de acordo com **SABBATINI (1985)**, elevada resistência à compressão, uniformidade nas características dimensionais e grande durabilidade; como desvantagem, o autor destacou sua elevada retração na secagem que se manifesta na forma de fissuras.

Bessey, citado por **SABBATINI (1985)**, comparou, no Quadro 3, as propriedades mais importantes de três diferentes tipos de blocos comercializados na Inglaterra, mostrando a predominância do bloco sílico-calcário.

2.9. TIJOLOS E BLOCOS DE CAL DE CARBURETO E ESCÓRIA DE ALTO-FORNO

FERNANDES (1992) relatou o uso da cal de carbureto, resíduo industrial de fábricas de acetileno, na confecção de blocos de solo-cal de carbureto, especiais, com seis furos, os quais, utilizados na construção de moradias populares, permitem redução do custo final em até 40% em relação aos sistemas construtivos tradicionais.

Adições de escória siderúrgica melhoram ainda mais a qualidade do produto, fazendo com que os blocos solo-cal de carbureto-escória se aproximem, em qualidade, dos blocos de cerâmica vermelha.

Lima (1992), citado por **GEYER et al. (1995)**, referiu-se à fabricação de tijolos de escória de alto-forno desenvolvidos pela USIMINAS. Tais tijolos e blocos apresentam características de alta qualidade, baixo custo, resistência à compressão elevada (maior, ainda, se em contato com água) e dispensam reboco e pintura. São fabricados com uma mistura de escória granulada de alto-forno, argila, cimento, corante e água, e são comercializados com o nome de Usimix, sendo projetados de forma a permitir a modulação do projeto e a racionalização da construção. Os fabricantes apresentam como vantagens desses materiais: (1) a conformidade com as normas técnicas da ABNT; (2) a economia de argamassa e mão-de-obra no assentamento; (3) a diminuição de quebras desde o transporte até sua utilização; (4) a facilidade na modulação da construção; (5) o excelente acabamento dispensando revestimento; (6) a melhor regularidade no prumo e no alinhamento da parede; (7) a redução dos custos de mão-de-obra e material. Os tijolos e blocos Usimix podem ser usados na execução de alvenaria estrutural e de vedação aparente, tanto em casas quanto em prédios, e são apresentados na forma de blocos inteiros, blocos canaleta, blocos jota, blocos compensadores, tijolos laminados, tijolinhos laminados, e também na forma de lajes pré-moldadas.

2.10. TIJOLOS DE CINZAS

Pesquisas desenvolvidas na cidade de Pelotas procuraram estudar a viabilidade de estabilização de solos regionais com cimento e materiais silicosos, pozolanas do tipo cinza de carvão mineral e cinza de casca de arroz.

A utilização das pozolanas citadas justifica-se em função de suas características reagentes, comprovadas no processo de produção do cimento, e sua abundância na região.

A metodologia usada para análise deste novo processo de estabilização de solos envolveu critérios normatizados para os tijolos de solo-cimento e para os tijolos maciços de alvenaria.

Este trabalho veio comprovar que, no processo de estabilização de solos com adição de pozolanas, possibilita-se a redução dos percentuais de cimento e do volume de solo empregado, bem como oferece destinação final e adequada às cinzas, resíduo industrial poluente, quando provenientes de carvão mineral.

DA FONSECA (1993) pesquisou a adição de cinzas de carvão mineral e cinzas de casca de arroz em tijolos de solo-cimento moldados com um teor mínimo de 10% de cimento. Este percentual de 10%, ainda que econômico dentro dos padrões indicados pela Associação Brasileira de Cimento Portland, trasladado para o custo de aquisição da população alvo desta tecnologia e de baixa renda, ficou elevado, pois o teor de cimento, comentou a autora em seu trabalho, fator definidor dos custos, é material de constante variação de preço. Analisou então produtos alternativos com características pozolânicas que reduzissem os percentuais de cimento.

A metodologia por ela adotada observou os seguintes passos:

- estudo dos materiais de características pozolânicas;
- ensaios de resistência à compressão simples, absorção de água e retração;
- ensaios de tijolos maciços de solo-cimento, de acordo com os parâmetros das normas brasileiras;
- determinação do volume de água usado na mistura;
- moldagem de tijolos maciços prensados manualmente, em máquina usual de fabricação de tijolos de solo-cimento;
- os pesos específicos das pozolanas utilizadas nas dosagens de traço foram expressos em volume;
- o processo de cura dos tijolos de cinza foi feito sob telheiros, protegidos do sol, para evitar a perda rápida de umidade, e com molhagem de duas vezes nos três primeiros dias e uma só vez até completar sete dias.

A autora relatou que os materiais componentes desta nova forma de estabilização de solos devem apresentar características físicas e químicas específicas, sem as quais esse processo de estabilização não acontece. Os resultados obtidos por **DA FONSECA (1993)** estão apresentados no Quadro 6 enquanto que, no Quadro 7, estão apresentados os valores de resistência e de absorção de água dos tijolos por ela ensaiados.

Quadro 6. Composição química dos materiais utilizados

Òxidos	CCM	CCA	CIM	SOLO
Silício - SiO_2	69,20 - 70,40	91,24	19,00 - 24,20	-
Alumínio - Al_2O_3	19,70 - 20,00	1,46	3,90 - 7,30	0,06
Oxido de ferro - Fe_2O_3	6,00 - 8,60	0,96	1,80 - 5,00	-
Potássio - K_2O	1,10 - 1,20	2,23	-	0,04
Titânio - Ti_2O	0,79 - 0,83	0,06	-	-
Cálcio - CaO	0,42 - 0,53	0,69	58,90 - 66,80	0,02
Sódio - NaO	0,31 - 0,68	0,20	-	0,01
Magnésio - MgO	0,26 - 0,32	0,50	0,50 - 0,63	0,01
Enxofre - SO	0,20 - 0,25	0,05	0,90 - 3,00	-
Manganês - MnO	0,03 - 0,06	0,16	-	-

Fonte: **DA FONSECA (1993)**
CCM - Cinza de Carvão Mineral
CCA - Cinza de Casca de Arroz
CIM - Cimento Pozolânico

Quadro 7. Resistência mecânica e absorção de água de tijolos de solo-cinza

Tijolos de solo-cimento-cinza	Resistência à compressão simples, aos 28 dias (MPa)	Absorção de água (%)
Cinza de carvão mineral (Traço I- CCM)	8,5	16,1
Cinza de carvão mineral + cinza de casca de arroz (Traço II -CCM + CCA)	5,3	17,9
Cinza de casca de arroz (Traço III- CCA)	4,1	20,4
Solo-cimento apenas	3,1	18,2

Fonte: **DA FONSECA (1993)**

Finalmente, **DA FONSECA** concluiu que:

- a viabilidade do uso de materiais silicosos, pozolanas do tipo cinza de carvão mineral e cinza de casca de arroz, no processo de estabilização de solos, é possível e eficiente;
- os teores de cimento empregados nas misturas de solo-cimento-cinza variaram de 6 e 10%;
- os traços de mistura, considerados ideais em função do teor de cimento e das quantidades de cinzas empregadas, na confecção dos tijolos de cinzas são os abaixo descritos:

Traço I:	50% CCM + 40% solo + 10% cimento	(CCMs)
Traço II:	25% CCM + 25% CCA + 40% solo + 10% cimento	(CCA -CCM)s
Traço III:	40% CCA + 50% solo + 10% cimento	(CCA)

- os tijolos de cinzas confeccionados com cinza de carvão mineral apresentaram comportamento mecânico superior aos de cinza de casca de arroz;
- os tijolos de cinzas comparados aos tijolos de solo-cimento, confeccionados com o mesmo tipo de solo, apresentaram melhor comportamento mecânico;
- neste processo de estabilização de solos, o custo de produção dos tijolos de cinzas está diretamente ligado ao valor do cimento, sendo a redução do percentual deste produto fundamental para viabilizar economicamente o processo;
- a redução de custos observada na confecção manual dos tijolos maciços de barro cozido apresentou valores redutores da ordem de 20 a 35%, conforme o teor de cimento utilizado.

Por sua vez, **CHIES et al. (1993)** estudaram o comportamento físico-mecânico de tijolos de cinza-cal fabricados com diferentes misturas de cinza volante, cimento Portland, cal e areia, submetidos a dois diferentes processos de cura, a saber: (1) cura à temperatura, de $21^oC \pm 2^oC$, durante 7, 14, 28 e 60 dias, e (2) cura em autoclave, sob pressões de 0,8, 1,0 e 1,2 MPa, durante 4 e 6 horas, e umidade de moldagem 3 e 5% abaixo da umidade ótima do ensaio normal de Proctor.

A cinza volante utilizada na pesquisa era constituída de 68,0% de SiO_2, 19,1% de Al_2O_3 e 7,8% de Fe_2O_3, enquanto que misturas de cinzas volantes mais pesadas apresentaram 61,6% - 18,6% - 15,7% dos mesmos constituintes, respectivamente. A cal dolomítica continha 11,6% de CaO, 31,4% de MgO e 39,5% de CaO disponível, 84% do

material passando na peneira nº 200 (0,074 mm de abertura de malha). A areia era caracterizada pelo módulo de finura igual a 2,36. Após submeter os tijolos de cinza-cal, de dimensões iguais a 5 x 10,5 x 22 cm^3, a ensaios de compressão simples, **CHIES et al. (1993)** concluíram que, à medida que aumenta o tempo de cura, cresce a resistência dos tijolos, devido às reações que ocorrem entre os silicatos e aluminatos da cinza com o hidróxido de cálcio da cal. No que se refere ao processo de cura, o tempo de cura é o fator responsável pela variabilidade da resistência à compressão no processo de cura à temperatura constante, enquanto que no processo de cura em autoclave, o fator principal é a energia de moldagem dos tijolos.

2.11. TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE CINZAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Da queima nas caldeiras do bagaço de cana-de-açúcar, para fins de geração de energia nas indústrias sucro-alcooleiras, produz-se cinza como material residual. Do total de bagaço queimado, cerca de 2,5% se transformam em cinzas.

CINCOTTO (1983) analisou a atividade pozolânica da cinza e concluiu que ela se comporta como um cimento pozolânico, muito embora a viabilidade de seu uso dependa ainda de outras verificações e novos estudos.

FREITAS (1996) estudou as cinzas resultantes da queima do bagaço de cana em mistura com solo-cimento visando a obtenção de tijolos para uso em construção civil. No seu trabalho, a autora propõe que a fração utilizável seja aquela que compreende:

- cinzas semi-beneficiadas, pelo simples peneiramento para retirada do material não-queimado, utilizando-se a fração passante na peneira ABNT n° 16, cuja abertura nominal é de 1,2 mm;
- cinzas beneficiadas, passadas primeiro pelo moinho de bolas, seguido de peneiramento, utilizando-se a fração passante na peneira ABNT n° 200, que possui abertura nominal de 0,075 mm.

A composição granulométrica da cinza de bagaço de cana-de-açúcar utilizada pela autora, está apresentada no Quadro 8.

Quadro 8. Composição granulométrica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar **.**

Abertura das malhas das peneiras (mm)	Total acumulado (%)	
	Retido	Passante
4,8	0,00	100,00
2,4	0,30	99,70
1,2	0,60	99,40
0,6	2,10	97,90
0,3	7,10	92,90
0,15	23,10	76,90
< 0,15	100,00	0,00

Fonte: **FREITAS (1995)**

Com as cinzas semi-benificiadas, **FREITAS (1996)** adotou o método proposto pela ABCP em seu Boletim Técnico BT-11 para a realização dos ensaios de resistência à compressão e de absorção d'água. Os tijolos foram confeccionados com traços 1:0:12, 1:1:11, 1:2:10, 1:3:9 e 1:4:8 (cimento, cinza e solo), em volume.

A autora relatou que, no preparo das misturas, o solo foi destorroado e peneirado em peneira de malha de abertura nominal igual a 4,8 mm sendo, em seguida, submetido à secagem natural em uma bancada, e, das cinzas, retirado o bagaço não-queimado, material este retido na peneira ABNT n° 16 cuja abertura nominal é 1,2 mm.

O cimento, a cinza e o solo, foram misturados manualmente até se obter uma coloração uniforme. Após a mistura seca, e para a verificação da umidade ideal, a água foi adicionada aos poucos, sendo em seguida aplicado o teste de esfarelamento no chão (conforme indicado no Boletim Técnico 111). Após a adição da água, a mistura era novamente peneirada para completar a homogeneização dos seus componentes. Os resultados destes ensaios estão apresentados no Quadro 9.

Quadro 9. Valores médios de resistência à compressão e absorção de água de tijolos de solo-cimento com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar

Traço	Resistência à compressão simples, aos 28 dias (MPa)	Absorção de água (%)
1:0:12	2,2	20,0
1:1:11	2,6	19,5
1:2:10	3,1	19,2
1:3: 9	3,6	18,6
1:4: 8	1,9	22,3

Fonte: **FREITAS (1996)**

Com as cinzas benificiadas, **FREITAS (1996)** pesquisou os seguintes traços: 1:0:10, 1:0:11, 1:0:12, 1:1:10, 1:1:11, 1:1:12, 1:2:10, 1:2:11 e 1:2:12 (cimento, cinza e solo), em volume. O procedimento adotado para a confecção dos tijolos foi semelhante ao anterior. Após as cinzas serem moídas em moinhos de bolas, separava-se a fração passante na peneira ABNT n° 200, cuja abertura nominal é 0,075 mm. Os resultados destes ensaios estão apresentados no Quadro 10.

Quadro 10. Ensaios realizados com tijolos de solo-cimento com adição de cinzas beneficiadas**.**

Traços	Peso específico seco (kN/m^3)	Resistência à compressão simples aos 10 dias (MPa)	Resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)	Absorção mínima de água (%)
1:0:10	17,38	2,69	4,73	17,72
1:0:11	17,06	2,41	4,40	17,65
1:0:12	17,25	1,94	4,23	17,87
1:1:10	17,29	2,74	5,51	18,54
1:1:11	16,77	2,78	4,81	18,56
1:1:12	17,00	2,30	4,61	18,24
1:2:10	16,75	2,40	4,25	18,70
1:2:11	16,90	2,60	4,57	19,10
1:2:12	16,63	2,65	4,02	19,35

Fonte**: FREITAS (1996)**

Em suas conclusões, **FREITAS (1996)** ressaltou que os ensaios realizados com tijolos, moldados a partir de misturas de solo-cimento e cinzas de bagaço semi-beneficiadas, indicaram aumentos de até 58% na resistência à compressão, ao mesmo tempo em que houve diminuição no grau de absorção de água em até 7%.

A autora chamou a atenção, também, para o fato de que, nos tijolos moldados a partir de misturas de solo-cimento e cinzas de bagaço beneficiadas, a adição de cinza foi satisfatória em todos os traços estudados (isto é, os corpos-de-prova atendem as condições de aceitação das normas brasileiras). Por outro lado, para cada relação solo-cimento, existe uma razão a partir da qual a adição de cinza no solo passa a ser excessiva e ocorrem decréscimos de valores nas propriedades mecânicas do material.

Como conclusão final, a autora destacou que a fabricação de tijolos feitos com a mistura cimento-cinza-solo, utilizando-se de cinzas de bagaço representa uma redução no consumo de cimento e, conseqüentemente, no custo final do tijolo, tendo em vista que as cinzas utilizadas são um resíduo agroindustrial e o custo do solo é, também, inferior ao custo do cimento.

2.12. ARGAMASSA DE CIMENTO REFORÇADA COM FIBRAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

SARMIENTO (1996), estudando o aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar, resíduo sólido da indústria sucro-alcooleira, para fins de obtenção de um material de construção alternativo, concluiu que, para se obter um bom material de construção, é necessário antes solucionar os problemas de incompatibilidade química entre a fibra e o cimento.

A autora relatou que as fibras de bagaço de cana-de-açúcar, desmeduladas mecanicamente na própria usina, foram inicialmente selecionadas e classificadas, por peneiramento, com a finalidade de separar a fração utilizável. As fibras foram "mineralizadas", após lavagem, com sais inorgânicos (silicato de sódio a 5% e sulfato de alumínio em solução saturada) com a finalidade de (a) proteger as fibras contra a agressão do meio alcalino; (b) imobilizar a matéria orgânica e o açúcar residual, evitando sua interferência nas reações de pega do cimento; (c) reduzir a capacidade de absorção de água, diminuindo as variações dimensionais; e (d) proporcionar melhores qualidades ao compósito, tais como: durabilidade, resistência ao fogo e ao ataque de microrganismos.

Em seu trabalho, **SARMIENTO (1996)** descreveu todo o processo de preparação das fibras, concluindo que as características das fibras são muito variáveis em função da fração de tamanho considerada; além de se tratar de um material que apresenta grandes vantagens associadas ao seu alto índice de enfeltramento e baixa massa especifica aparente. Por outro lado, as fibras possuem alta capacidade de absorção de água, o que pode inviabilizá-las para uso em compósitos, justificando-se desta forma quaisquer tratamentos que visem superar estas limitações.

Depois de quimicamente tratadas com solução de silicato de sódio a 5 % e solução saturada de alumínio, as fibras passaram a apresentar massa específica aparente média de 15,65 kN/m^3 (1565 kg/m^3).

Os tempos inicial e final de pega da pasta de cimento determinados em laboratório foram, respectivamente, 3 e 7 horas, estando os resultados dos ensaios apresentados no Quadro 11.

Quadro 11. Tempos inicial (TPI) e final (TPF) de pega da pasta de cimento, em horas-minutos, preparada com água de amassamento de diferentes composições.

Teores de fibras quimicamente tratadas, previamente mergulhadas na água de amassamento	Fibras tratadas com silicato de sódio a 5% e solução de :			
	Sulfato de alumínio saturada		Sulfato de alumínio a 10%	
	TPI (h)	TPF (h)	TPI (h)	TPF (h)
10 %	2:35	4:30	3:10	5:15
20 %	1:00	1:47	3:30	5:25
30 %	0:57	1:37	3:20	5:20

Fonte: **SARMIENTO (1996)**

Depois destes ensaios e de constatar que a presença de fibras de bagaço de cana-de-açúcar, por conter substâncias inibidoras, retarda a pega do cimento, recomendou a autora usar solução de sulfato de alumínio saturada para superar o efeito retardador sobre a pega do cimento, uma vez que a solução a 10% de concentração não foi suficiente para tal fim.

No Quadro 12 estão mostrados os valores dos índices de consistência das argamassas de cimento e areia de traços 1:2 e 1:3, reforçadas com 10, 20 e 30% de fibras; o fator água-cimento foi definido para cada traço. Os valores dos índices de consistência sugerem que a presença das fibras proporcionou menor escorregamento da argamassa ou, por outro lado, maior consistência.

Também foram feitos ensaios de resistência à tração na compressão diametral dos corpos-de-prova de argamassa de cimento e areia reforçada com fibras de bagaço, estando os resultados apresentados no Quadro 13. O traço definido para ser utilizado foi 1 : 2 : 0,20 : 0,78 (cimento : areia : fibra : água), por ser aquele que apresentou menor massa específica e satisfatória resistência à compressão, sendo então esse traço escolhido para testar os tratamentos aplicados às fibras de bagaço.

Quadro 12. Índices de consistência da argamassa de cimento e areia reforçada com diferentes teores de fibras de bagaço de cana-de-açúcar.

Traço, em massa (cimento: areia: fibra: água)	Índices de consistência (mm)
1 : 2 : 0,00 : 0,38	192,0
1 : 2 : 0,10 : 0,66	132,5
1 : 2 : 0,20 : 0,96	125,5
1 : 2 : 0,30 : 1,20	125,0
1 : 3 : 0,00 : 0,48	177,0
1 : 3 : 0,10 : 0,72	141,0
1 : 3 : 0,20 : 1,05	128,0
1 : 3 : 0,30 : 1,28	150,0

Fonte: **SARMIENTO (1996**)

Quadro 13. Resistência mecânica de corpos-de-prova de argamassa de cimento e areia reforçada com fibras de bagaço de cana-de-açúcar, aos 7 dias de idade.

Traço, em massa (cimento: areia: fibra: água)	Resistência à compressão simples (MPa)	Resistência à tração na compressão diametral (MPa)	Massa específica aparente (kN/m^3)
1 : 2 : 0,00 : 0,38	38,19	3,74	21,70
1 : 2 : 0,10 : 0,66	4,75	1,09	17,80
1 : 2 : 0,20 : 0,96	2,40	0,46	14,70
1 : 2 : 0,30 : 1,20	1,46	0,38	13,90
1 : 3 : 0,00 : 0,48	24,85	2,93	2,22
1 : 3 : 0,10 : 0,72	3,20	0,70	1,81
1 : 3 : 0,20 : 1,05	1,72	0,51	1,61
1 : 3 : 0,30 : 1,28	1,15	0,31	1,49

Fonte: **SARMIENTO (1996)**

Foram feitas análises de variância dos dados de resistência à compressão simples com diferentes tratamentos, o melhor deles sendo aquele em que o bagaço foi lavado e "mineralizado". Os resultados estão mostrados no Quadro 14.

Quadro 14. Tratamentos aplicados às fibras de bagaço de cana-de-açúcar em relação à resistência à compressão e à massa específica aparente.

Tratamentos aplicados às fibras de bagaço de cana-de-açúcar	Resistência à compressão simples, aos 7 dias (MPa)	Massa específica aparente (kN/m^3)
Não lavagem	0,25	0,0137
Lavagem	0,64	0,0140
Lavagem + acelerador	1,23	0,0165
Lavagem e "mineralização"	2,97	0,0166
Lavagem, "mineralização" e lavagem	1,50	0,0168
Lavagem, "mineralização" e lavagem + acelerador	2,50	0,0170
Lavagem, "mineralização" + acelerador	2,81	0,0164

Fonte: **SARMIENTO (1996)**

Em suas conclusões, **SARMIENTO (1996)** ressaltou os seguintes pontos:

1. visando a diminuição da incompatibilidade química entre as fibras de bagaço de cana-de-açúcar e o cimento, foram testadas diversas técnicas; a que deu melhor resultado foi aquela pela qual o bagaço foi "mineralizado", após lavagem, utilizando silicato de sódio a 5% e em solução saturada de sulfato de alumínio;
2. demonstrou-se que, nos ensaios preliminares aplicados à pasta de cimento, os produtos químicos utilizados para a "mineralização" das fibras não interferiam nas características do cimento (expansibilidade, início e fim de pega); pelo contrário, favoreceram sua hidratação, atuando como aceleradores de pega;
3. a incorporação de 30% de fibras, em massa, na matriz de cimento e areia resultou em dificuldades na trabalhabilidade e em baixa resistência do compósito.

2.13 TIJOLOS DE SOLO-VINHAÇA CONCENTRADA

Resultante da produção de álcool, a vinhaça, resíduo líquido de destilaria, foi por muito tempo considerada como despejo; soluções alternativas de aproveitamento tornaram-na de poluente indesejável a sub-produto de ampla margem de utilização.

ROLIM (1996) estudou as características físico-mecânicas da vinhaça concentrada a 19% de sólidos totais, com o objetivo de utilizá-la para fins de fabricação de tijolos. O

autor utilizou, para tal, dois tipos de solo, a saber: um solo arenoso $A_{2\text{-}4(0)}$, outro argiloso $A_{7\text{-}5(8)}$, tratados com 0%, 12%, 16% e 20% de vinhaça concentrada.

O referido autor relacionou em seu trabalho todos os ensaios aos quais foram submetidos os solos e as misturas de solo-vinhaça concentrada. Depois de moldados os corpos-de-prova para a determinação da resistência à compressão simples aos 7, 30 e 90 dias, e analisados e interpretados os resultados obtidos, foi escolhida a dose de 12% de vinhaça concentrada para a confecção dos tijolos de solo-vinhaça. Os resultados do ensaio de resistência à compressão dos tijolos estão apresentados no Quadro 15.

Quadro 15. Resistência à compressão simples de tijolos confeccionados com solos tratados com 12% de vinhaça concentrada (em MPa).

Amostra	Resistência à compressão	
	Solo arenoso	Solo argiloso
1	2,11	1,45
2	2,02	1,55
3	1,92	1,71
4	1,90	1,96
5	1,76	1,80
6	1,67	1,71
7	1,90	1,86
8	1,65	2,00
9	1,78	1,88
10	1,86	1,96
11	2,13	1,65
12	2,05	2,00
13	2,00	1,96
14	1,65	1,61
15	2,13	1,45
16	2,11	2,09
Média	1,92	1,79
Desvio	0,17	0,21
CV(%)	9,01	11,52

Fonte: **ROLIM (1996)**

ROLIM (1996) afirmou que os tijolos confeccionados com solos arenoso e argiloso tratados com 12% de vinhaça concentrada, não apresentaram diferenças significativas no que se refere à resistência à compressão simples, cujos valores ficaram abaixo daqueles preconizados para tijolos de solo-cimento. Por outro lado, com relação ao ensaio de absorção de água, o autor explicou que não foi possível a aplicação deste ensaio

aos tijolos de solo-vinhaça concentrada, pois os mesmos se desmanchavam poucas horas após sua imersão total em água, motivo pelo qual o autor destacou o fato de que, tendo em vista estes resultados alcançados, os tijolos podem ser recomendados para uso em ambientes protegidos ou em paredes revestidas e tratadas com produtos hidrofugantes.

Nota: É importante esclarecer que na revisão bibliográfica aparecem diferentes unidades de medida para um mesmo parâmetro, isto em respeito ao autor citado, preservando-se as unidades por ele utilizadas. Não obstante, todas atendem ao Sistema Internacional de Medidas atualmente vigente.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. FIBRAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

3.1.1. MATERIAIS

No que se refere ao estudo das fibras de bagaço de cana-de-açúcar, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- **Bagaço de cana-de-açúcar**

O bagaço, mecanicamente desmedulado, foi fornecido pela COPERSUCAR e colhido junto à Usina Furlan, Santa Bárbara D'Oeste, S P.

- **Aditivos químicos**

Foram utilizados dois sais inorgânicos, a saber, o silicato de sódio (Na_2SiO_3) e o sulfato de alumínio [$Al_2 (SO_4)_3$ 18 H_2O], adquiridos junto a casas comerciais do ramo.

- **Água**

Utilizou-se água potável para a lavagem das fibras, e água destilada no preparo das soluções de silicato de sódio e de sulfato de alumínio, assim como na determinação da massa específica aparente das fibras do bagaço.

- **Cimento**

Foi utilizado o cimento Portland composto com escória CPII-E-32. Suas características físicas, químicas e mecânicas atendem os requisitos especificados pela **NBR 11578** (Cimento Portland Composto), conforme o fabricante.

♦ **Solos**

O solo argiloso foi coletado em área localizada dentro do Campus da UNICAMP, em Campinas-SP, próxima à Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), e o solo arenoso foi coletado em jazida situada no Município de Sumaré-SP.

♦ **Equipamentos de Laboratório**

Os seguintes equipamentos de laboratório foram empregados para a realização dos ensaios:

- espectrofotômetro, para a determinação do teor de açúcar;
- balança analítica com sensibilidade 0,001 g, marca Marte Balanças e Aparelho de Precisão Ltda.;
- estufa de temperatura regulável, marca FANEM, Modelo 315 SE, para a determinação do teor de umidade e secagem do material;
- recipiente para a determinação da massa específica das fibras, de acordo com a **NBR 07251** (Agregado em estado solto. Determinação da massa específica);
- máquina de ensaio, EMIC, Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda., carga máxima 24 toneladas, para a ruptura dos corpos-de-prova e dos tijolos à compressão simples;
- moldes cilíndricos metálicos, soquete, balança, peneiras, estufa, etc., para o ensaio de compactação do solo;
- câmara úmida, para a cura de corpos-de-prova e de tijolos;
- máquina para fabricar tijolos de solo-cimento, marca SOLOTEST;
- outros (pá de pedreiro, espátulas, etc.).

3.1.2. MÉTODOS

3.1.2.1. PROCEDIMENTOS APLICADOS AO BAGAÇO E ÀS FIBRAS

Logo após o recebimento do material já desmedulado, todo o bagaço foi passado pela peneira de 4,76 mm, retirando-se dele a parte não utilizável.

♦ **Análise granulométrica do bagaço (passado pela peneira de 4,76 mm)**

As análises granulométricas do bagaço de cana-de-açúcar em estado natural, depois de passado pela peneira de 4,76 mm, foram feitas de forma semelhante à explicitada pela norma **NBR 07181** (Solo. Análise granulométrica), que fixa o modo pelo qual se procede à análise granulométrica de solos, uma vez que não se dispõe de uma norma específica para este resíduo.

A fração mais adequada a utilizar, pela menor concentração de medula e maior volume de bagaço, é aquela retida nas peneiras de 1,2 mm (nº 16) e 0,6 mm (nº 30) de abertura de malha, de acordo com a **NBR 05734** (Peneiras de ensaio), na qual predominam as fibras de comprimento entre 10 a 30 mm, representando estas fibras aproximadamente 50% do volume total do bagaço.

♦ **Determinação do teor de umidade inicial do bagaço de cana-de-açúcar**

A determinação do teor de umidade foi feita pesando-se amostras de bagaço secas ao ar, as quais, depois de levadas à estufa a 70°C (e não à temperatura superior, para evitar possível risco de incêndio), até constância de peso, tiveram seus pesos secos anotados. O teor de umidade foi calculado utilizando-se a expressão:

$$h = \frac{(Pu - Ps)}{Ps} \times 100 \qquad (1)$$

onde: h = teor de umidade, em porcentagem;

Pu = peso úmido da amostra, em g;

Ps = peso seco da amostra, em g.

♦ **Determinação do teor de açúcar residual do bagaço de cana-de-açúcar**

Antes de qualquer ensaio, o bagaço de cana-de-açúcar passou por um pré-tratamento que incluía imersão em água fervente durante 30 minutos e, em seguida, lavagem em água corrente, seguida de secagem ao ar livre. Tal procedimento teve por objetivo reduzir o teor de açúcar residual e eliminar as impurezas.

Após a lavagem a quente do bagaço de cana-de-açúcar, foram tomadas duas amostras e encaminhadas aos laboratórios da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP, para a determinação do teor de açúcar residual pelo método de Antrona.

As amostras foram preparadas para serem comparadas com um padrão de sacarose (1 mg/ml), utilizando-se, para tal, de um espectrofotômetro, no qual a leitura é feita num regulador que seleciona o comprimento de onda correspondente ao padrão de sacarose, calibrando-o e zerando-o. A unidade de leitura é dada em absorbância de luz, e os valores, depois de calculados, são expressos em porcentagem.

- **Tratamento químico das fibras**

As fibras de bagaço de cana-de-açúcar passaram por um tratamento químico à base de silicato de sódio em combinação com sulfato de alumínio.

O "diffusion-penetrating-process", proposto por **FURUNO et al. (1991)**, foi aplicado às fibras com ligeiras modificações para atender às características próprias das fibras de bagaço de cana-de-açúcar.

Assim, de acordo com o processo original, preparou-se uma solução de silicato de sódio a 5% na qual foram imersas as fibras durante 5 minutos; após este tempo, as fibras foram retiradas, enxutas superficialmente e deixadas secar ao ar durante 1 hora. As fibras, já impregnadas de silicato de sódio, foram imersas agora numa solução saturada de sulfato de alumínio (30%) durante 5 minutos, retiradas, enxutas superficialmente e postas a secar ao ar durante outra 1 hora, após o que foram levadas à estufa para secagem à temperatura de 60 °C, por mais 24 h (Figura 1). Resfriadas durante 1 h, as fibras foram acondicionadas em um recipiente hermeticamente fechado.

Figura 1. Fibras postas a secar ao ar durante 1 hora

Estes procedimentos foram adotados conforme recomendações de **SARMIENTO (1996).**

- **Ensaio de absorção de água das fibras**

Uma certa quantidade de fibras secas, previamente pesada, foi imersa em água; decorrido um determinado intervalo de tempo, as fibras foram retiradas, enxugadas superficialmente e imediatamente pesadas em uma balança com sensibilidade de 0,001 g.

As pesagens foram feitas inicialmente a cada minuto até o décimo, depois a intervalos de 10 minutos até o sexagésimo, daí por diante com intervalos de 24 h até o quinto dia. O ensaio foi conduzido com três repetições e aplicado às fibras com e sem tratamento. A quantidade de água absorvida foi calculada de acordo com (1).

- **Determinação da massa específica aparente das fibras**

A massa específica foi determinada introduzindo-se uma certa quantidade de fibras, previamente pesada, no interior de uma proveta contendo água destilada, e medindo-se, em seguida, o volume de água deslocado, que é igual ao volume de fibras introduzido. O mesmo procedimento foi repetido utilizando-se álcool em vez de água, com a finalidade de se comparar os resultados.

SARMIENTO (1996) referiu-se, em seu trabalho, às dificuldades encontradas pelo fato das fibras, tão logo imersas no meio líquido, começarem a absorvê-lo e, conseqüentemente, se incharem, sofrendo variação volumétrica. Este problema foi contornado procurando-se deixar as fibras o mínimo tempo possível em contato com os líquidos em ambas situações.

3.1.2.2. PROCEDIMENTOS APLICADOS AOS SOLOS

- **Determinação da massa específica dos sólidos dos solos**

A massa específica dos sólidos dos solos arenoso e argiloso foi determinada de acordo com a norma brasileira **NBR 07251** (Agregado em estado solto. Determinação da massa específica unitária).

♦ **Determinação dos limites de liquidez e de plasticidade dos solos**

Os limites de liquidez e de plasticidade dos solos arenoso e argiloso foram determinados de acordo com as normas **NBR 06459** (Solo. Determinação do limite de liquidez) e **NBR 07180** (Solo. Determinação do limite de plasticidade), respectivamente.

♦ **Análise granulométrica dos solos**

A análise granulométrica dos solos arenoso e argiloso foi feita de acordo com a norma **NBR 07181** (Solo. Análise granulométrica).

♦ **Ensaio de compactação dos solos**

Os parâmetros de compactação foram determinados através do ensaio de compactação normal de Proctor, tal como preconizado pela norma **NBR 07182** (Solo. Ensaio de compactação).

3.1.2.3. PROCEDIMENTOS APLICADOS ÀS MISTURAS

♦ **Composição das misturas de solo-cimento-fibra**

Seguindo as recomendações de **SARMIENTO (1996)**, resolveu-se trabalhar com teores de 10% e 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar, uma vez que a incorporação de teores mais elevados resulta em dificuldades na trabalhabilidade e em baixa resistência mecânica do material. Com a finalidade de melhorar tais características de resistência, decidiu-se incorporar às misturas de solo e fibra, uma quantidade de cimento correspondente a 3%, em peso. Além desses tratamentos foram definidos, também, os tratamentos que servirão de controle (testemunha) e que são os seguintes: solo (sem nenhuma adição) e solo tratado com 3% de cimento, em peso. Os tratamentos passaram então a ser os seguintes:

T_1 - solo argiloso;

T_2 - solo argiloso + 3% de cimento;

T_3 - solo argiloso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar;

T_4 - solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar;

T_6 - solo arenoso;

T_7 - solo arenoso + 3% de cimento;

T_8 - solo arenoso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar;

T_9 - solo arenoso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar. [1]

- **Ensaio de compactação dos solos com as misturas de solo-cimento-fibra**

Para a determinação do teor ótimo de umidade e da massa específica aparente seca máxima, das diferentes misturas de solo-cimento-fibra estudadas, aplicou-se a metodologia do ensaio de compactação de solo-cimento, de acordo a norma **NBR 12023** (Solo-cimento. Ensaio de compactação).

- **Moldagem dos corpos-de-prova**

A moldagem dos corpos-de-prova de 10 cm de diâmetro e 12,7 cm de altura, seguiu os procedimentos indicados pela norma **NBR 12024** (Solo-cimento. Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos). Na preparação das misturas levou-se em conta a quantidade de água determinada nos ensaios de compactação, feitos anteriormente. A mistura dos componentes foi feita manualmente. Para os tratamentos sem fibras, as misturas foram feitas até se conseguir perfeita homogeneização do solo, cimento e água. Para os tratamentos com fibras, primeiramente foram misturados o cimento e o solo para, logo após, serem adicionadas aos poucos as fibras e, posteriormente, a água, até se conseguir perfeita homogeneização.

Os moldes foram previamente untados com óleo mineral desmoldante, sendo a moldagem dos corpos-de-prova feita logo em seguida. A cura foi feita em câmara úmida durante 7 dias já se podendo observar, nessa idade, o aparecimento de mofo na superfície do corpo-de-prova, provavelmente devido à conjunção de condições favoráveis, tais como, umidade relativa do ar elevada e presença de açúcar residual nas fibras. Foram feitos 9 corpos-de-prova, 6 para o ensaio de resistência à compressão, nas idades de 28 e 60 dias, e 3 para o ensaio de absorção de água.

[1] Os tratamentos T_5 e T_{10} correspondem às misturas de solo-cimento-cinza, que serão definidas posteriormente.

- **Ensaio de compressão simples dos corpos-de-prova**

A determinação da resistência à compressão simples foi feita de acordo com a norma **NBR 12025** (Solo-cimento. Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos).

Os corpos-de-prova foram rompidos aos 28 e 60 dias de idade, em máquina de ensaio. A resistência à compressão simples foi calculada individualmente para cada corpo-de-prova, dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do mesmo. A resistência média foi determinada pela média aritmética de três repetições.

- **Ensaio de absorção de água dos corpos-de-prova**

O ensaio foi feito da forma descrita pela norma **NBR 10836** (Bloco vazado de solo-cimento. Determinação da resistência à compressão e da absorção de água).

3.1.2.4. PROCEDIMENTOS APLICADOS AOS TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO-FIBRA

- **Confecção dos tijolos de solo-cimento-fibra**

Os tijolos, referentes a cada tratamento, foram moldados de acordo com a norma **NBR 08491** (Tijolo maciço de solo-cimento). Os tijolos confeccionados com fibras foram preparados misturando-se o cimento ao solo e, depois, acrescentando-se aos poucos as quantidades de fibra pré-definidas. A mistura dos três componentes foi feita até se obter coloração uniforme e completa distribuição das fibras.

Os tijolos foram moldados no teor de umidade ótima do ensaio de compactação normal de Proctor, sendo a água adicionada aos poucos até se obter uniformidade de mistura para colocação nas fôrmas.

Para cada traço foram moldados 15 tijolos para os ensaios de compressão simples, sendo 4 para cada idade (7, 28 e 60 dias) e 3 outros para o ensaio de absorção de água.

- **Regulagem da prensa**

Para garantir que os tijolos fossem submetidos à pressão de compactação semelhante à do Proctor normal, regulou-se a prensa relacionando-se a massa do tijolo com a massa do corpo-de-prova, e admitindo-se que ambos tivessem a mesma massa específica aparente seca máxima e a mesma umidade ótima.

- **Prensagem dos tijolos**

Conforme o disposto na norma **NBR 10832** (Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual), o material já misturado foi colocado, com o auxílio de pás e colher de pedreiro, nos moldes da máquina (Figura 2), sendo em seguida rasado para retirada do excesso, antes de ser prensado. A presença das fibras na mistura ofereceu algumas dificuldades por ocasião da prensagem dos tijolos; além da necessidade de um maior volume de material nas fôrmas para se alcançar o peso pré-determinado dos tijolos, tornou-se difícil executar a prensagem correta que exigia um grande esforço, às vezes conseguido apenas com o auxílio de dois operários. Após prensagem, os tijolos foram extraídos com muito cuidado da máquina (Figura 3), pesados individualmente e colocados numa bancada do laboratório.

Figura 2. Material colocado nos moldes da máquina de fabricação de tijolos.

Figura 3. Tijolos prontos para serem retirados da máquina

♦ **Medição e pesagem dos tijolos**

Depois da fabricação da série de 15 tijolos, de acordo com os tratamentos, cada tijolo era pesado e medido para controle do peso e verificação das dimensões, conforme a norma brasileira **NBR 08491** (Tijolo maciço de solo-cimento). Também foi identificada a posição de cada um dos três tijolos moldados de uma só vez na máquina de fabricação de tijolos (posições central e laterais). As Figuras 4 e 5 mostram os tijolos correspondentes a cada um dos tratamentos aplicados.

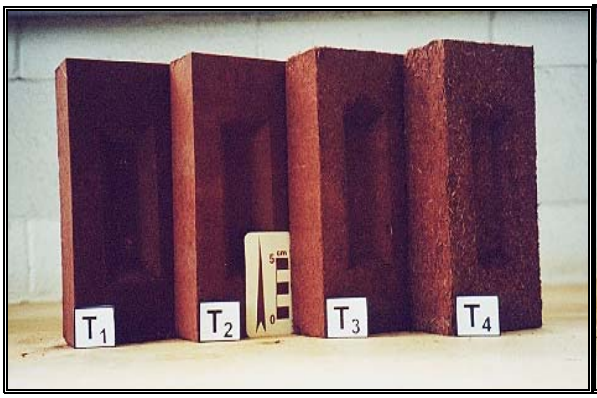

Figura 4. Tijolos com tratamentos T_1, T_2, T_3, e T_4.

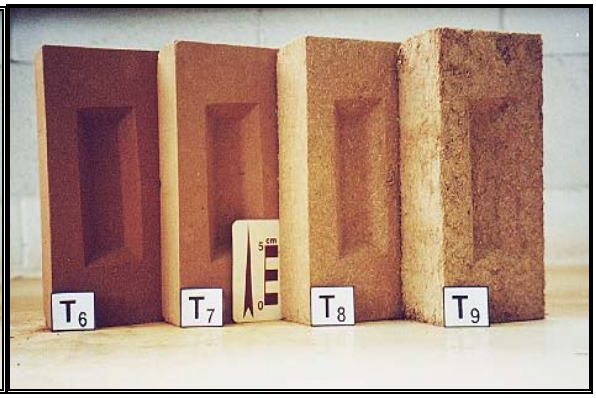

Figura 5. Tijolos com tratamentos T_6, T_7, T_8, e T_9

♦ **Cura dos tijolos**

Os tijolos foram deixados a secar ao ar livre e à sombra, durante algumas horas, para após serem colocados na câmara úmida durante 7 dias. Depois de curados, os tijolos foram retirados da câmara úmida e colocados sobre uma bancada, à espera do momento de serem submetidos aos ensaios de compressão simples e de absorção de água. Os tijolos com fibras já com essa idade (7 dias) manifestaram o aparecimento de mofo, tal como no caso dos corpos-de-prova cilíndricos.

♦ **Ensaio de compressão simples de tijolos de solo-cimento-fibra**

De acordo com a norma brasileira **NBR 08492** (Tijolo maciço. Determinação da resistência à compressão), os tijolos foram primeiramente serrados ao meio e superpostos, tendo suas faces unidas com uma camada de aproximadamente dois milímetros de pasta de cimento, colocada com auxílio de espátula. Em seguida, procedeu-se ao capeamento das

faces inferior e superior e das reentrâncias, sendo tudo feito com a mesma capa de pasta de cimento. Os tijolos, assim preparados, estão mostrados na Figura 6. Logo após o endurecimento da pasta de cimento, os corpos-de-prova foram deixados por 24 horas imersos em água, antes de serem submetidos à compressão.

Figura 6. Corpos-de-prova de tijolos preparados para o ensaio de compressão.

Nas figuras 7 e 8 estão mostrados os corpos-de-prova de tijolos, já dispostos na prensa, para a realização do ensaio de compressão simples.

Figura 7. Corpo-de-prova de tijolo colocado na prensa para o ensaio de compressão.

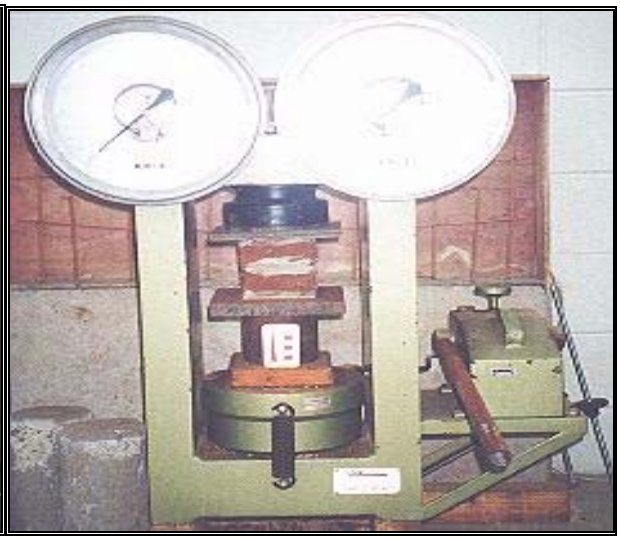

Figura 8. Corpo-de-prova de tijolo pronto para ser ensaiado à compressão.

- **Ensaio de absorção de água de tijolos de solo-cimento-fibra**

Para a realização deste ensaio foram observados os procedimentos relatados em outras pesquisas com materiais fibrosos. Os tijolos, com idade de 7 dias, previamente pesados, foram submersos em um recipiente contendo água, mantendo-se constante a altura da lâmina d'água em 3 cm; depois de 24 horas, os tijolos foram enxugados superficialmente e novamente pesados, sendo em seguida determinado o seu teor de umidade por diferença de peso. Na Figura 9 pode-se observar os tijolos sendo submetidos a este ensaio de absorção.

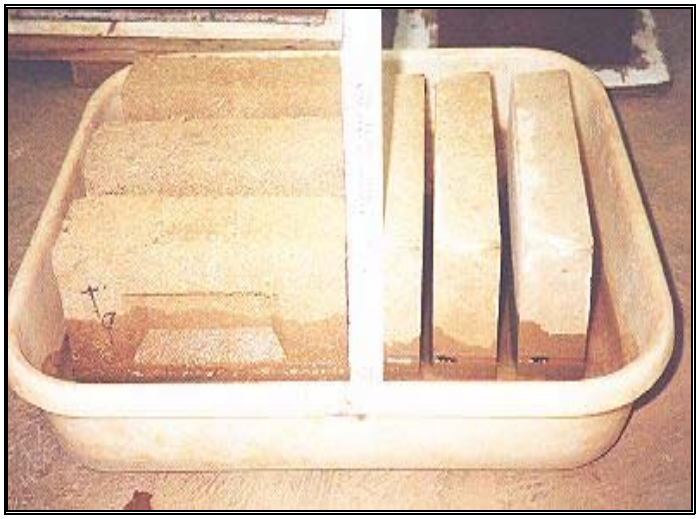

Figura 9. Tijolos no ensaio de absorção de água.

3.2. CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

3.2.1. MATERIAIS

Com relação ao estudo da cinza de bagaço de cana-de-açúcar, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- **Cinza de bagaço de cana-de-açúcar**

As cinzas utilizadas na pesquisa foram coletadas na Usina Furlan, Município de Santa Bárbara D'Oeste, SP.

♦ **Água**

Utilizou-se água potável.

♦ **Cimento**

Foi utilizado o cimento Portland composto com escória CPII-E-32. Suas características físicas, químicas e mecânicas atendem os requisitos especificados pela **NBR 11578** (Cimento Portland Composto), conforme o fabricante.

♦ **Equipamentos de Laboratório**

Os seguintes equipamentos de laboratório foram empregados para a realização dos ensaios:

- peneiras de 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15 e 0,074 mm de abertura de malhas, para as análises granulométricas da cinza;
- balança com sensibilidade de 0,001 g, marca Marte Balanças e Aparelho de Precisão Ltda.;
- moinho de bolas, para pulverizar as cinzas visando o aumento do grau de finura (mostrado no item 3.2.3.3 na Figura 12);
- "flow table", para a determinação do índice de consistência das pastas de cimento;
- máquina de ensaio, EMIC, Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda., carga máxima 24 toneladas, para a ruptura dos corpos-de-prova à compressão simples;
- estufa de temperatura regulável, para a determinação do teor de umidade e secagem do material (secagem ao ar das cinzas recém-chegadas da Usina, tal como mostrado na Figura 10);
- moldes cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, soquete, capeador, misturador mecânico, etc., para a moldagem de corpos-de-prova;
- moldes cilíndricos metálicos, soquete, balança, peneiras, estufa, etc., para o ensaio de compactação do solo;
- câmara úmida, para a cura de corpos-de-prova;

- máquina para fabricar tijolos de solo-cimento, marca SOLOTEST;
- outros (pá de pedreiro, espátulas, etc.).

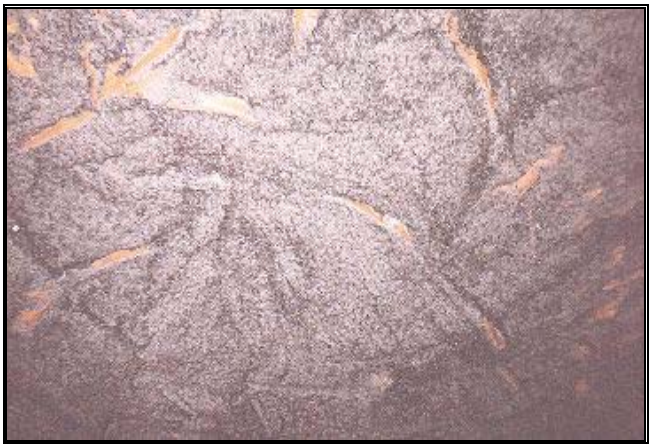

Figura 10. Secagem ao ar das cinzas recém-chegadas da Usina.

3.2.2. MÉTODOS

3.2.2.1. PROCEDIMENTOS APLICADOS ÀS CINZAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR.

♦ **Características físicas da cinza de bagaço de cana-de-açúcar**

Recebida a cinza, pôde-se observar de imediato sua coloração preta e sua composição heterogênea, compreendendo restos de bagaço de cana-de-açúcar não queimados, de diferentes tamanhos, além de partículas de carvão que se desfaziam ao simples toque, e de outras substâncias.

♦ **Peneiramento da cinza em peneira de 4,76 mm**

Toda a cinza inicialmente passou por um processo de peneiramento pela peneira de 4,76 mm, descartando-se todo o material inaproveitável. A fração passante foi, então, peneirada em um jogo de peneiras (4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15 e 0,074 mm) para se determinar sua distribuição granulométrica.

- **Moagem da cinza**

As cinzas de bagaço de cana-de-açúcar foram submetidas à moagem em moinho de bolas (como mostrado na Figura 11), uma vez que o material original se apresentava de forma grosseira, imprópria para o fim proposto. Com esse procedimento pretendeu-se, também, aumentar a quantidade de cinza possível de utilização.

Figura 11. Moinho de bolas, para pulverizar as cinzas de bagaço de cana-de-açúcar**.**

- **Determinação do teor de umidade**

A determinação do teor de umidade da cinza foi feita pelo método já descrito da estufa, a 70 ^{o}C, durante 24 h. O teor de umidade foi determinado para as cinzas recém-chegadas e também depois de um período de secagem de vários dias, sendo feitas seis repetições para cada caso.

- **Composição química**

A composição química das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, relativa à fração passante na peneira ABNT nº 100, foi realizada na Central Analítica do Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

A técnica analítica utilizada foi a da absorção atômica por atomização por chama e análise elementar CHN. Para a absorção atômica foi observado o seguinte procedimento:

abertura da amostra por digestão ácida, seguida da quantificação dos metais por absorção atômica via atomização por chama. Para a análise elementar CHN: determinação direta com analisador elementar CHN Perkin Elmer.

3.2.2.2. PROCEDIMENTOS APLICADOS ÀS MISTURAS DE SOLO, CIMENTO E CINZA.

- **Escolha das diferentes combinações de cimento-cinza**

Para se pesquisar qual a combinação de cimento Portland e cinza de bagaço de cana-de-açúcar que melhor resultado apresentasse em termos de resistência mecânica, foram pesquisadas dez combinações desses materiais, a saber: 100-0, 90-10, 80-20, 70-30, 60-40, 50-50, 40-60, 30-70, 20-80, 10-90 (% de cimento - % de cinza). Para estas combinações foram determinados o índice de consistência normal, a relação água/cimento e a resistência à compressão simples.

- **Determinação da água da pasta de consistência normal das combinações de cimento-cinza**

A relação água-cimento foi determinada para diferentes combinações de cimento e cinza, de acordo com a norma **NBR 11580** (Cimento Portland. Determinação da Água da Pasta de Consistência Normal) da ABNT, utilizando-se a "Flow Table" e considerando-se pasta de consistência normal aquela cujo índice de consistência fosse igual a 6 ± 1 mm.

- **Moldagem dos corpos-de-prova das misturas de cimento-cinza**

A moldagem dos corpos-de-prova de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura seguiu os procedimentos indicados pela norma **NBR 07215** (Cimento Portland. Determinação da Resistência à Compressão) da ABNT. Baseados nos resultados da determinação da água da pasta de consistência normal, foram preparados corpos-de-prova com as diferentes combinações de cimento-cinza, a saber: C_1 (100-0), C_2 (90-10), C_3 (80-20), C_4 (70-30), C_5 (60-40) e C_6 (50-50) [% de cimento - % de cinza, em peso], utilizando-se um misturador mecânico para preparar as amostras. A partir da combinação C_6 (50 % de cimento – 50 % de cinza), a mistura resultou em dificuldades na trabalhabilidade, tornando-se áspera e

demorando a endurecer-se, permitindo a desmoldagem somente após 72 horas, motivo pelo qual não foram ensaiadas misturas contendo teores de cinza superiores a 50% em peso.

Para cada traço foram moldados 6 corpos-de-prova, sendo 3 destinados aos ensaios de resistência à compressão simples ao 7° dia, e 3 aos ensaios de resistência à compressão simples aos 28 dias. A cura foi feita em câmara úmida. Os corpos-de-prova com estas 6 combinações estão mostrados na Figura 12.

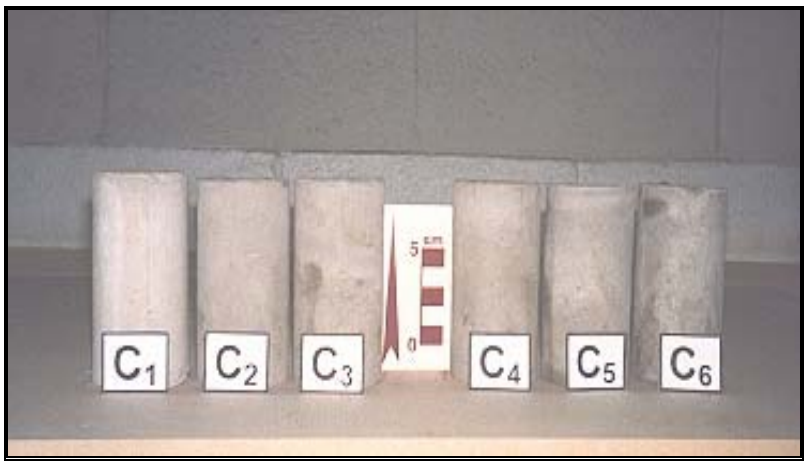

Figura 12. Corpos-de-prova com combinações C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 e C_6 de cimento-cinza

- **Determinação da resistência à compressão simples das misturas de cimento-cinza**

A determinação da resistência à compressão simples foi feita de acordo com a norma **NBR 07215** (Cimento Portland. Determinação da Resistência à Compressão) da ABNT.

Os corpos-de-prova, depois de capeados com a mistura de enxofre e caulim a quente, foram rompidos aos 7 e 28 dias de idade, em máquina de ensaio. A resistência à compressão simples foi calculada individualmente para cada corpo-de-prova, dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova. A resistência foi determinada pela média aritmética das resistências individuais de 3 corpos-de-prova, ensaiados na mesma idade.

- **Composição das misturas de solo-cimento-cinza**

Baseado nos resultados apresentados pelas combinações cimento-cinza, foi escolhida a combinação C_3 (80% de cimento e 20% de cinza) para a confecção dos tijolos, adotando-se como testemunhas os tratamentos com solo sem qualquer adição e os tratamentos com solo adicionado de 3% de cimento. Os tratamentos foram identificados como:

T_5 - solo argiloso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinza);

T_{10} - solo arenoso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas).

- **Ensaio de compactação do solo com diferentes misturas**

Para a determinação do teor ótimo de umidade e da massa específica aparente seca máxima, das diferentes misturas de solo-cimento-cinza estudadas, aplicou-se a metodologia do ensaio de compactação de solo-cimento, de acordo a norma **NBR 12023** (Solo-cimento. Ensaio de compactação).

- **Moldagem dos corpos-de-prova**

A moldagem dos corpos-de-prova de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, seguiu os procedimentos indicados pela norma **NBR 12024** (Solo-cimento. Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos). Na preparação das misturas levou-se em conta a quantidade de água determinada nos ensaios de compactação, feitos anteriormente. A mistura dos componentes foi feita manualmente. Primeiramente, foram misturados o cimento e a cinza, até se conseguir homogeneidade e igual coloração, para depois adicionar-se o solo e, por último, a água.

Os moldes foram previamente untados com óleo mineral desmoldante, sendo a moldagem dos corpos-de-prova feita logo em seguida. A cura foi feita em câmara úmida durante 7 dias. Foram feitos 9 corpos-de-prova, sendo 6 deles destinados ao ensaio de compressão simples, nas idades de 28 e 60 dias, e os demais destinados ao ensaio de absorção de água. Na Figura 13 estão mostrados os corpos-de-prova com os tratamentos T_6, T_7 e T_{10}, para os ensaios de compressão simples e de absorção de água.

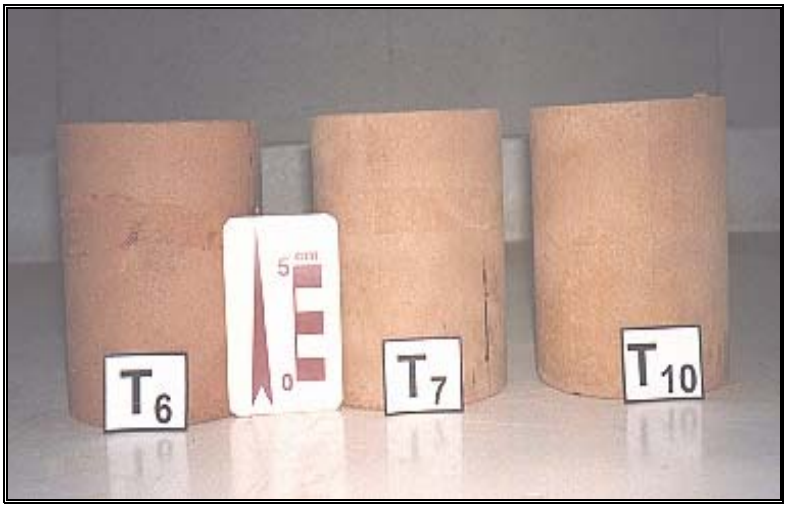

Figura 13. Corpos-de-prova referentes aos tratamentos T_6, T_7 e T_{10}

♦ **Ensaio de compressão simples dos corpos-de-prova**

A determinação da resistência à compressão simples foi feita de acordo com a norma **NBR 12025** (Solo-cimento. Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos).

Os corpos-de-prova foram rompidos aos 28 e 60 dias de idade, em máquina de ensaio. A resistência à compressão simples foi calculada individualmente para cada corpo-de-prova, dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do mesmo. A resistência média foi determinada pela média aritmética de três repetições.

♦ **Ensaio de absorção de água dos corpos-de-prova**

O ensaio foi feito da forma descrita pela norma **NBR 10836** (Bloco vazado de solo-cimento. Determinação da resistência à compressão e da absorção de água).

3.2.2.3. PROCEDIMENTOS APLICADOS AOS TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO-CINZA

♦ **Confecção dos tijolos de solo-cimento-cinza**

Os tijolos, referentes a todos os tratamentos previstos, foram igualmente confeccionados de acordo com a norma **NBR 08491** (Tijolo maciço de solo-cimento). Primeiramente, foram misturados o cimento e a cinza que, após homogeneização, foram

adicionados ao solo, à razão de 3% de cimento em relação ao peso do solo seco, seguido de nova homogeneização.

Os tijolos foram confeccionados no teor de umidade ótima do ensaio de compactação normal de Proctor, sendo a água adicionada aos poucos até se obter uma mistura uniforme para ser colocada nas formas.

Para cada traço foram moldados 12 tijolos para os ensaios de compressão simples, sendo 4 para cada idade (7, 28 e 60 dias), e 3 para o ensaio de absorção de água.

- **Regulagem da prensa e prensagem dos tijolos de solo-cimento-cinza**

A prensa foi regulada da forma anteriormente descrita para tijolos de solo-cimento-fibra, assim como a prensagem dos tijolos.

- **Medição, pesagem e cura dos tijolos de solo-cimento-cinza**

Todos estes procedimentos foram feitos de acordo com o já relatado anteriormente para os tijolos de solo-cimento-fibra. Os tijolos feitos com os tratamentos T_5 e T_{10} estaõ mostrados na Figura 14.

Figura 14. Tijolos referentes aos tratamentos T_5 e T_{10}

- **Ensaio de compressão simples e ensaio de absorção de água de tijolos de solo-cimento-cinza**

Ambos os ensaios foram conduzidos da forma já descrita anteriormente para tijolos de solo-cimento-fibra.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ENSAIOS APLICADOS ÀS FIBRAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

As fibras de bagaço de cana-de-açúcar foram inicialmente submetidas a um processo de peneiramento para separá-las por tamanho e assim utilizar a fração de tamanho mais adequada para incorporação em argamassas de cimento e areia. Os resultados deste peneiramento estão registrados no Quadro 16.

Quadro 16. Fracionamento do bagaço de cana-de-açúcar em estado natural, a partir de uma quantidade inicial de 50g

Parâmetros	Quantidade retida		Quantidade retida acumulada		Quantidade passante acumulada	
	g	%	g	%	g	%
Peneira de 4,76 mm	18,97	37,94	18,97	37,94	31,03	62,06
Fundo	31,01	62,02	49,98	99,96	0,02	0,04

O que se pode observar é que aproximadamente 38% do bagaço não são aproveitáveis para a obtenção de fibras por representarem a fração grosseira, de tamanho superior a 4,76 mm. A porção passante na peneira nº 4 (4,76 mm), por sua vez, foi submetida a novo peneiramento com a finalidade de se determinar sua composição em tamanho, estando os resultados mostrados no Quadro 17.

Quadro 17. Composição granulométrica do bagaço de cana-de-açúcar depois de passado na peneira de 4,76 mm, a partir de uma quantidade inicial de 100 g.

Peneiras		grama ou porcentagem retida				% acumulada
nº	mm	1	2	3	*Média*	*Média*
4	4,76	0,56	0,66	0,59	0,60	0,60
10	2,00	6,18	6,20	5,98	6,12	6,72
16	1,20	21,44	20,95	21,40	21,22	27,94
30	0,60	30,22	30,12	31,10	30,48	58,42
60	0,25	33,10	33,50	32,96	33,18	91,60
100	0,15	6,15	6,84	5,93	6,30	97,90
200	0,075	1,14	1,20	0,96	1,10	99,00

Tomando como referência o trabalho de **SARMIENTO (1996)**, separou-se a fração utilizável, ou seja, aquela retida nas peneiras de 1,2 e 0,6 mm de abertura de malha, na qual predominam as fibras de comprimento entre 10 a 30 mm, representando estas fibras aproximadamente 50% do volume total do bagaço e caracterizando-se, ainda, por apresentarem menor concentração de medula.

Foram calculados, também, os teores de umidade inicial das fibras, cujos resultados estão registrados no Quadro 18. O valor médio de 16,4% foi levemente superior àquele encontrado por **SARMIENTO (1996)**, cujo valor era 15,5%.

Quadro 18. Teor de umidade inicial das fibras de bagaço de cana-de-açúcar

Teor de umidade	1	2	3	4	5	6	Média
(%)	16,7	17,2	16,4	15,9	16,6	15,8	16,4

Os resultados da determinação do teor de açúcar residual das fibras de bagaço de cana-de-açúcar estão mostrados no Quadro 19 e na Figura 15.

Quadro 19. Teores de açúcar residual das fibras de bagaço de cana-de-açúcar em função da lavagem a quente.

Amostras de fibras de bagaço	SARMIENTO (1996)			MESA VALENCIANO (1998)		
	Açúcar Residual (%)	% que representa	% de redução de açúcar depois da lavagem	Açúcar Residual (%)	% que representa	% de redução de açúcar depois da lavagem
Desmedulado e sem lavagem	1,90	100		3,13	100	
Lavagem com água	0,54	28,42	71,58	0,63	20,12	79,88

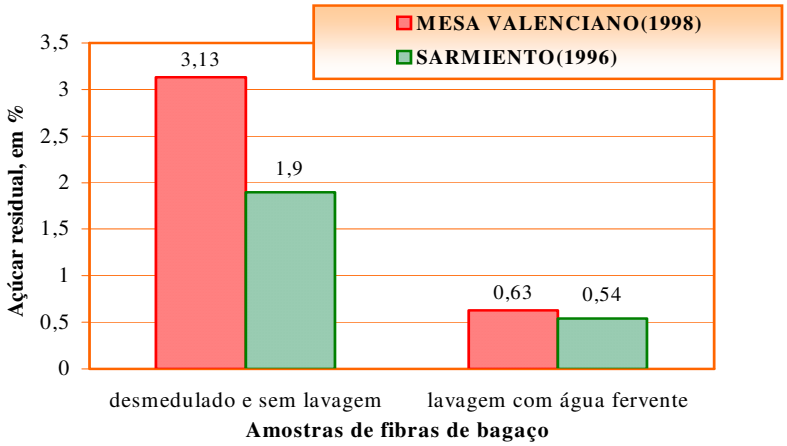

Figura 15. Teores de açúcar residual das fibras de bagaço de cana-de-açúcar

Os resultados obtidos do presente trabalho mostraram que o teor de açúcar residual inicial das fibras alcançou um valor 64,73% superior ao encontrado por **SARMIENTO (1996);** após a lavagem com água fervente, no entanto, a redução do teor de açúcar residual foi 8,3% superior ao alcançado por **SARMIENTO (1996).**

O tratamento químico feito nas fibras de bagaço de cana-de-açúcar reduziu sua capacidade de absorção de água, em função do tempo (Quadro 20 e Figura 16).

Quadro 20. Porcentagem de absorção de água por fibras de bagaço de cana-de-açúcar em função do tempo

Amostras de fibras de bagaço	Tempo decorrido a partir da imersão em água				
	1'	10'	60'	24 h	5 dias
Fibras sem tratamento (a)	441	485	488	506	550
Fibras sem tratamento (b)	245	323	377	398	521
Fibras com tratamento (a)	129	132	132	136	143
Fibras com tratamento (b)	184	200	203	203	209

(a) **SARMIENTO (1996).**

(b) **MESA VALENCIANO (1998)**

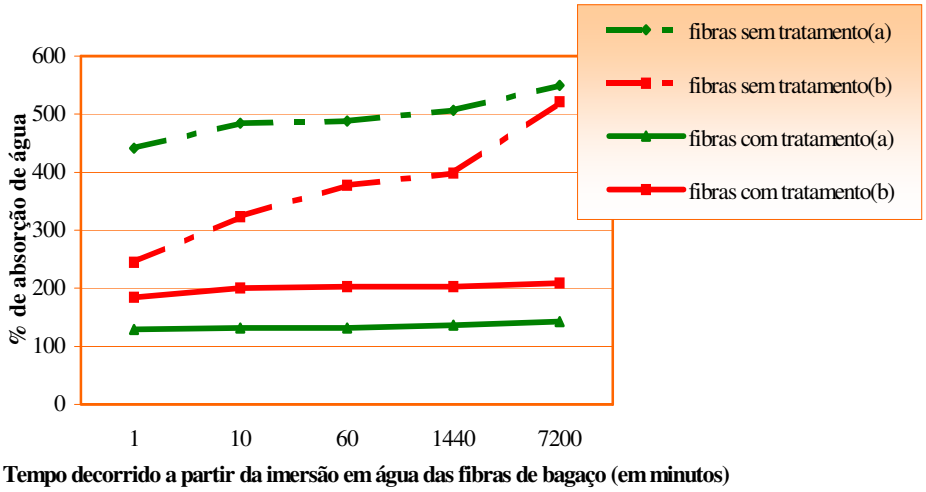

Figura 16. Porcentagem de absorção de água por fibras de bagaço de cana-de-açúcar.

Depois de quimicamente tratadas, as fibras passaram a apresentar massa específica aparente média de 14,40 kN/m^3.

Juntamente com os ensaios de caracterização das fibras, foram feitos os ensaios de caracterização dos solos arenoso e argiloso, estando estas características apresentadas no Quadro 21 e na Figura 17.

Quadro 21. Características físicas dos solos estudados

Parâmetros		Solo	
		Arenoso	Argiloso
Composição textural (% em peso)	Areia grossa (0,42 - 2,00 mm)	14,83	8,45
	Areia fina (0,05 - 0,42 mm)	64,71	37,32
	Silte (0,005 - 0,05 mm)	13,34	14,25
	Argila (< 0,005 mm)	2,38	35,18
Limites de consistência (%)	Limite de liquidez	15,5	47,40
	Limite de plasticidade	13,8	31,87
	Índice de plasticidade	0,87	15,53
Classificação	AASHTO Bureau of Public Roads	A_{2-4} Arenoso	A_7 Argiloso
Massa específica dos grãos (kN/m^3)		26,32	28,79

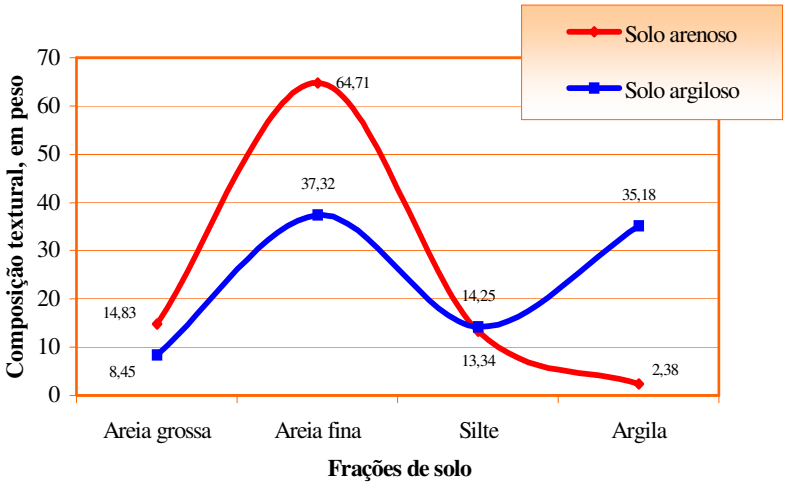

Figura 17. Composição granulométrica dos solos arenoso e argiloso

A partir dos resultados dos ensaios de caracterização física dos solos estudados, pode-se concluir que o solo arenoso, bem graduado e com uma certa quantidade de silte mais argila, pode ser estabilizado com pequena quantidade de cimento; o solo argiloso, no entanto, contendo um teor de silte mais argila ao redor de 50%, exigiria maiores quantidades de cimento para ser estabilizado. Outras características desejáveis dos solos são

os valores dos limites de liquidez e de plasticidade, mostrando o solo arenoso melhor adequação por apresentar baixo limite de liquidez e baixo índice de plasticidade.

4.1. 1. ENSAIOS APLICADOS ÀS MISTURAS DE SOLO-CIMENTO-FIBRA

Os valores da massa específica aparente seca máxima e da umidade ótima das misturas (tratamentos) de solo-cimento-fibra, obtidos do ensaio de compactação normal de Proctor, estão mostrados no Quadro 22 e nas Figuras 18 e 19.

Quadro 22. Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{máx}$) e umidade ótima (h_{ot}) do ensaio de compactação das misturas de solo-cimento-fibra

Parâmetros		Tratamentos							
		Solo argiloso				Solo arenoso			
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_6	T_7	T_8	T_9
$\gamma_{máx}$ (kN/m^3)	A	15,60	15,48	13,93	11,62	19,90	19,60	16,40	13,25
	B	15,61	15,84	13,31	10,85	19,10	18,80	15,60	13,50
	C	15,66	15,97	13,23	10,80	18,80	18,80	15,60	13,70
	Média	**15,62**	**15,77**	**13,49**	**11,09**	**19,28**	**19,10**	**15,86**	**13,48**
	Desvio Padrão Médio	0,03	0,25	0,38	0,46	0,57	0,46	0,46	0,23
h_{ot} (%)	A	27,96	27,29	33,60	39,40	11,70	13,10	17,70	22,30
	B	27,81	26,89	33,30	39,16	11,20	12,60	18,60	22,60
	C	27,62	27,29	34,38	39,38	11,90	12,90	18,50	23,10
	Média	**27,80**	**27,16**	**33,76**	**39,31**	**11,60**	**12,85**	**18,26**	**22,66**
	Desvio Padrão Médio	0,17	0,23	0,56	0,14	0,36	0,25	0,49	0,41

Legenda

T_1 - Solo argiloso
T_2 - Solo argiloso + 3% de cimento
T_3 - Solo argiloso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_4 - Solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_6 - Solo arenoso
T_7 - Solo arenoso + 3% de cimento
T_8 - Solo arenoso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_9 - Solo arenoso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar

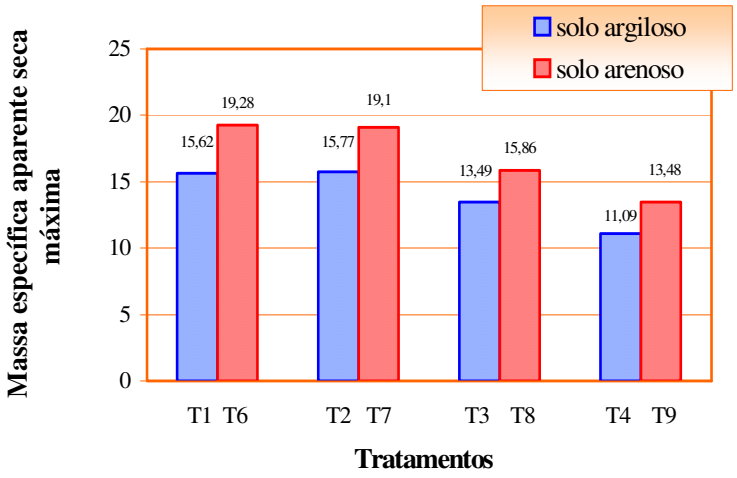

Figura 18. Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{máx}$) do ensaio de compactação aplicado aos diferentes tratamentos

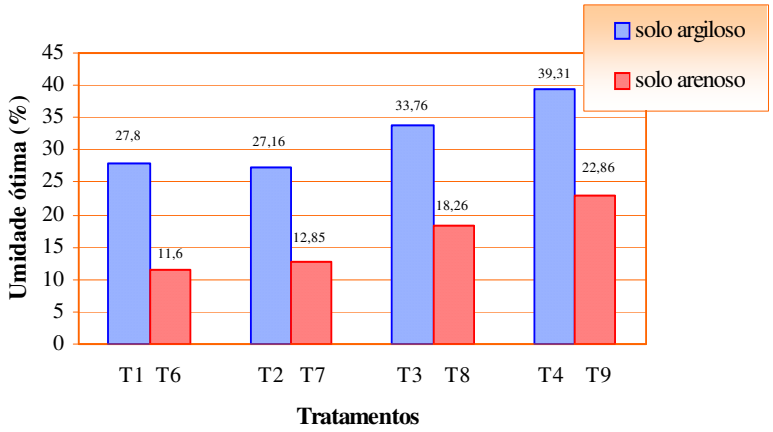

Figura 19. Teor de umidade ótima (%) do ensaio de compactação aplicado aos diferentes tratamentos.

O teste de Tukey, aplicado aos dados obtidos do ensaio de compactação, revelou que os maiores valores de massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{máx}$) foram apresentados pelos tratamentos T_6 (solo arenoso) e T_7 (solo arenoso + 3% de cimento) que, ao nível de 5% de probabilidade estatística, não diferiram entre si. O menor valor, por outro lado, foi apresentado pelo tratamento T_4 (solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibras).

Os demais tratamentos ocuparam posição intermediária, sendo T_8 (solo arenoso + 3% de cimento + 10% de fibras) igual a T_2 (solo argiloso + 3% de cimento) igual a T_1 (solo argiloso), e todos com valores superiores a T_3 (solo argiloso + 3% de cimento + 10% de fibras) que, estatisticamente, não diferiu de T_9 (solo arenoso + 3% de cimento + 20% de fibras).

Por outro lado, dentro do solo arenoso, os maiores valores de massa específica aparente seca máxima foram alcançados pelos tratamentos T_6 e T_7, estatisticamente iguais entre si ao nível de 5% de significância; o menor valor foi proporcionado pelo tratamento T_9, ocupando o tratamento T_8 posição intermediária. No caso do solo arenoso, a tendência foi exatamente a mesma, com os maiores valores relacionados aos tratamentos T_1 e T_2, iguais entre si, e o menor valor associado ao tratamento T_4; o tratamento T_3 situou-se em posição intermediária.

O que se pode depreender dessa análise é que a incorporação de fibras de bagaço de cana-de-açúcar aos solos arenoso e argiloso, tratados ou não com 3% de cimento, reduziu os valores da massa específica aparente seca máxima a níveis estatisticamente significativos.

Com relação à umidade ótima, o maior valor (39,3%) foi alcançado pelo tratamento T_4 e o menor valor (11,6%), pelo tratamento T_6; os demais tratamentos observaram a seguinte ordem decrescente: $T_3 > (T_1 = T_2) > T_9 > T_8 > T_7$. Se referidos apenas ao solo argiloso, o maior valor de umidade ótima foi alcançado pelo tratamento T_4 e os menores, pelos tratamentos T_1 e T_2, iguais entre si; o tratamento T_3 ocupou posição intermediária. No que se refere ao solo arenoso, os tratamentos observaram a seguinte ordem decrescente: $T_9 > T_8 > T_7 > T_6$.

O solo argiloso apresentou valores de umidade ótima proporcionalmente maiores do que o solo arenoso, sendo que em ambos os solos, todavia, a umidade ótima decresceu com a redução do teor de fibras na mistura de solo-cimento-fibra.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão simples, aos 28 e 60 dias, de corpos-de-prova confeccionados com diferentes misturas de solo-cimento-fibra estão mostrados no Quadro 23 e na Figura 20.

Quadro 23. Resistência à compressão simples (MPa), aos 28 e 60 dias, de corpos-de-prova confeccionados com diferentes misturas de solo-cimento-fibra

Parâmetros		Misturas (tratamentos) de solo-cimento-fibra							
		Solo argiloso				Solo arenoso			
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_6	T_7	T_8	T_9
Resistência à compressão simples aos 28 dias	A	1,46	1,78	1,08	0,92	1,26	1,95	1,24	1,10
	B	1,50	1,90	1,03	0,93	1,40	1,90	1,20	1,08
	C	1,42	1,71	1,04	0,91	1,34	1,93	1,35	1,05
	Média	**1,46**	**1,79**	**1,05**	**0,92**	**1,33**	**1,92**	**1,26**	**1,07**
	Desvio Padrão Médio	0,04	0,10	0,03	0,01	0,07	0,03	0,08	0,03
Resistência à compressão simples aos 60 dias	A	1,56	1,92	1,16	0,97	1,55	2,01	1,40	1,15
	B	1,62	1,90	1,14	0,98	1,59	2,05	1,45	1,20
	C	1,72	2,09	1,01	0,96	1,62	2,20	1,35	1,16
	Média	**1,63**	**1,97**	**1,13**	**0,97**	**1,58**	**2,08**	**1,40**	**1,17**
	Desvio Padrão Médio	0,08	0,11	0,08	0,01	0,04	0,10	0,05	0,03

Legenda

T_1 - Solo argiloso
T_2 - Solo argiloso + 3% de cimento
T_3 - Solo argiloso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_4 - Solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_6 - Solo arenoso
T_7 - Solo arenoso + 3% de cimento
T_8 - Solo arenoso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_9 - Solo arenoso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar

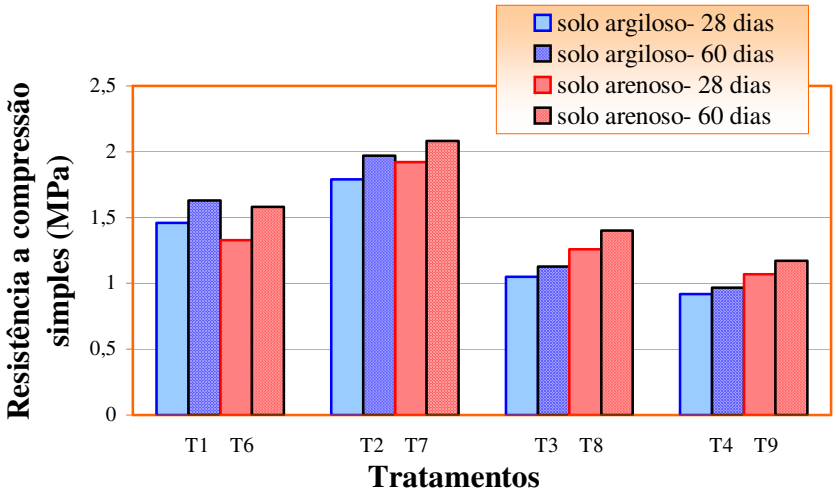

Figura 20. Resistência à compressão simples (MPa), aos 28 e 60 dias, de corpos-de-prova confeccionados com diferentes misturas de solo-cimento-fibra.

No que diz respeito à resistência à compressão simples de corpos-de-prova de solo-cimento-fibra, aos 28 dias de idade, o teste de Tukey mostrou que os maiores valores foram apresentados pelos tratamentos T_7 (solo arenoso + 3% de cimento) e T_2 (solo argiloso + 3% de cimento) os quais, estatisticamente, não diferiram entre si. Por outro lado, os menores valores foram alcançados pelos tratamentos T_3 (solo argiloso + 3% de cimento + 10% de fibra), T_4 (solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibra) e T_9 (solo arenoso + 3% de cimento + 20% de fibra).

A adição de apenas 3% de cimento em ambos os solos foi suficiente para aumentar sua resistência em relação a todos os demais tratamentos; a incorporação de fibras, todavia, afeta negativamente essa propriedade.

Aos 60 dias de idade, os resultados são praticamente os mesmos, prevalecendo as mesmas tendências, conferindo o cimento maiores valores de resistência à compressão simples, e as fibras, os menores valores.

Os valores da resistência à compressão simples sempre foram maiores aos 60 dias do que aos 28 dias para todos os tratamentos, com exceção dos tratamentos T_3, T_4 e T_9, mostrando a negativa influência da incorporação de fibras sobre esse parâmetro de qualidade.

Os resultados do ensaio de absorção de água aplicado aos tratamentos em estudo estão mostrados no Quadro 24 e na Figura 21.

Como pode se observar a partir dos resultados deste ensaio, o tratamento T_7 (solo arenoso + 3% de cimento) foi o que levou ao menor valor de absorção de água (13,71%), seguido do tratamento T_2 (solo argiloso +3% de cimento). Com a incorporação de 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar, a capacidade de absorção de água pelos corpos-de-prova de solo-cimento-fibra passou a ser maior, alcançando valores estatisticamente diferentes, ao nível de 5% de significância, para os tratamentos T_8 (solo arenoso + 3% de cimento + 10% de fibras) e T_3 (solo argiloso + 3% de cimento + 10% de fibras). O maior valor de absorção de água (21,85%) foi apresentado pelo tratamento T_4 (solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibras). Independentemente do tipo de solo, o aumento do teor de fibras na mistura levou sempre a aumentos de absorção de água, tanto maiores quanto maiores foram as quantidades de fibras incorporadas.

Quadro 24. Absorção de água, em porcentagem, dos corpos-de-prova de solo-cimento-fibra.

Parâmetro		Misturas (tratamentos) de solo-cimento-fibra					
		Solo argiloso			Solo arenoso		
		T_2	T_3	T_4	T_7	T_8	T_9
Absorção de água em %	A	15,00	20,40	21,25	13,55	17,56	19,20
	B	15,40	19,60	21,76	13,68	17,67	19,30
	C	15,80	19,94	22,54	13,90	17,10	19,60
	Média	**15,40**	**19,98**	**21,85**	**13,71**	**17,44**	**19,36**
	Desvio Padrão Médio	0,40	0,40	0,65	0,18	0,31	0,21

Legenda

T_1 - Solo argiloso
T_2 - Solo argiloso + 3% de cimento
T_3 - Solo argiloso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_4 - Solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_6 - Solo arenoso
T_7 - Solo arenoso + 3% de cimento
T_8 - Solo arenoso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_9 - Solo arenoso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar

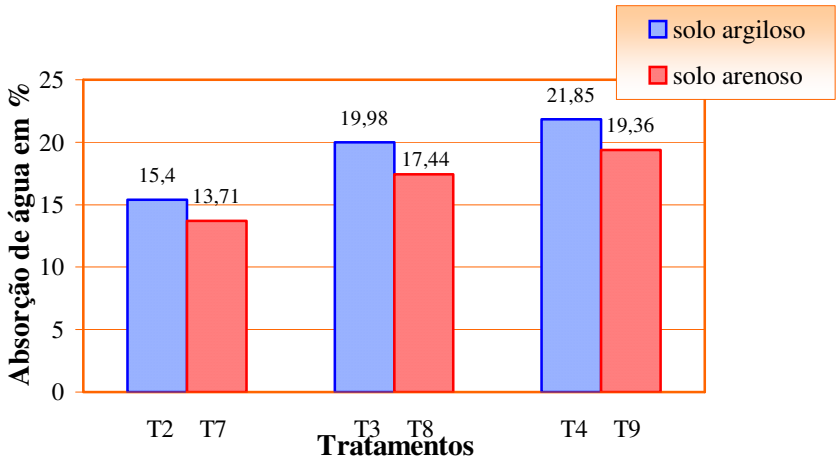

Figura 21. Absorção de água, em porcentagem, das misturas (tratamentos) de solo-cimento-fibra

4.2. ENSAIOS APLICADOS ÀS CINZAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Tão logo recebidas e após secagem ao ar, as cinzas de bagaço de cana-de-açúcar foram passadas em peneira de 4,76 mm de abertura de malha, anotando-se que aproximadamente 94% do material passou pela referida peneira, ficando retidos apenas

5,5%. O restante compreendia materiais pulverulentos não aproveitáveis que se perdiam no processo de peneiramento. Os resultados do ensaio estão mostrados no Quadro 25.

Quadro 25. Resultados do ensaio de peneiramento inicial da cinza em peneira de 4,76 mm

Repetições	Material passante em peneira de 4,76 mm		Material retido	
	g	% do total	g	% do total
1	950	95,00	40	4,0
2	960	96,00	37	3,7
3	920	92,00	70	7,0
4	930	93,00	65	6,5
5	930	93,00	60	6,0
6	935	93,50	58	5,8
Média	937,5	93,75	55	5,5

Em comparação, **FREITAS (1996)** trabalhou com cinzas "in natura" 100 % passante na peneira de 4,8 mm.

A fração passante na peneira de 4,76 mm foi novamente submetida ao peneiramento através de um jogo de peneiras, estando os resultados registrados no Quadro 26, enquanto que, no Quadro 27 e na Figura 22, estão registrados os resultados comparativos da composição granulométrica das cinzas procedentes da Usina São José **(FREITAS, 1996)** e da Usina Furlan.

Quadro 26. Análise granulométrica da cinza de bagaço de cana-de-açúcar

Peneiras		Total Acumulado (%)			
		Retido		Passante	
nº	mm	g	%	g	%
4	4,76	0,00	0,00	500,00	100,0
8	2,4	0,70	0,14	499,30	99,86
16	1,2	5,50	1,10	499,50	98,90
30	0,6	28,00	5,60	472,00	94,40
50	0,3	149,80	29,96	350,20	70,04
100	0,15	367,70	73,54	132,30	26,46
200	0,074	495,30	99,06	4,70	0,94
Fundo	< 0,074	500,00	100,00	0,00	0,00

Quadro 27. Resultados comparativos das análises granulométricas das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar da Usina São José (Campos, RJ) e da Usina Furlan (Santa Bárbara D'Oeste, SP)

Peneiras		Total Acumulado (%)			
		Retido		Passante	
nº	mm	Cinzas (Usina São José, RJ)*	Cinzas (Usina Furlan, SP)**	Cinzas (Usina São José, RJ)*	Cinzas (Usina Furlan, SP)**
4	4,76	0,00	0,00	100,00	100,00
8	2,4	0,30	0,14	99,70	99,86
16	1,2	0,60	1,10	99,40	98,90
30	0,6	2,10	5,60	97,90	94,40
50	0,3	7,10	29,96	92,90	70,04
100	0,15	23,10	73,54	76,90	26,46
200 e Fundo	< 0,15	100,00	100,00	0,00	0,00

* **FREITAS (1996)**
** **MESA VALENCIANO (1998)**

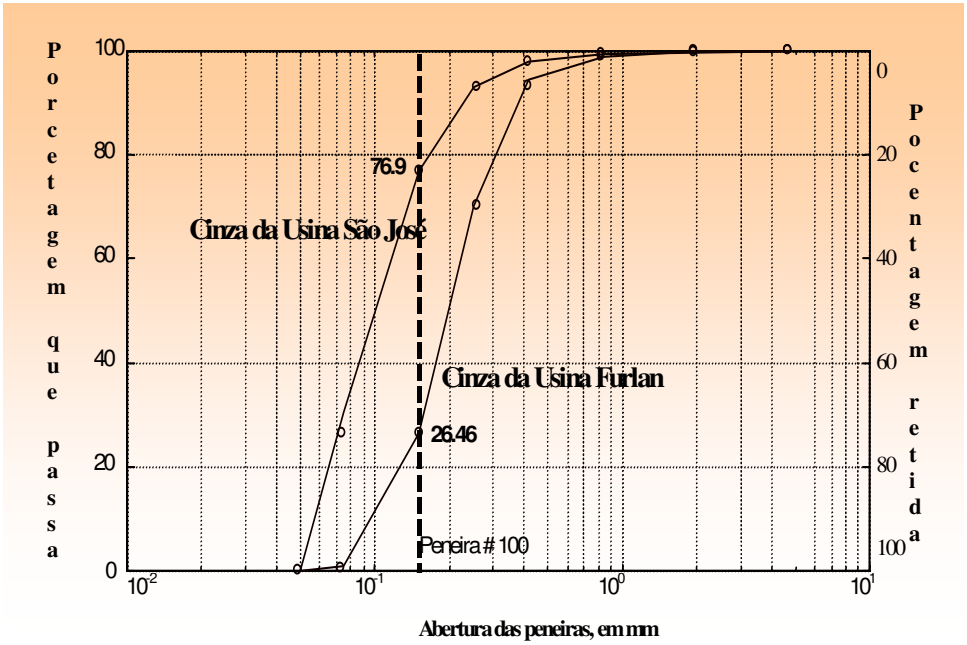

Figura 22. Resultados das análises granulométricas das cinzas da Usina São José e da Usina Furlan.

As grandes diferenças observadas entre os resultados das análises granulométricas destas cinzas, principalmente no que se refere à peneira nº 100 (0,15mm), deve-se ao maior grau de finura da cinza procedente da Usina São José (76,9% do material passando na peneira nº 100, contra 26,4% da Usina Furlan).

Várias opções foram testadas a fim de se conseguir maior grau de finura e maior eficiência do moinho de bolas, tais como a moagem de diferente quantidades de cinzas e a moagem durante diferentes períodos de tempo, estando os resultados mostrados no Quadro 28 e Figura 23 e no Quadro 29 e Figura 24, respectivamente.

Quadro 28. Peneiramento da cinza de bagaço de cana-de-açúcar a partir de uma amostra inicial de 5 kg sob diferentes tempos de moagem

Peneiras		% retida em cada peneira após moagem durante					
nº	mm	Não moída	15 minutos	60 minutos	3 horas	8 horas	16 horas
4	4,76	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00
8	2,4	1,44	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03
16	1,2	0,96	1,60	0,13	0,14	0,12	0,12
30	0,6	4,50	3,35	4,28	4,10	4,10	4,08
50	0,3	24,36	15,30	15,14	16,20	16,35	16,30
100	0,15	39,68	38,60	37,75	35,50	32,90	32,80
200	< 0,15	25,46	34,30	35,04	36,60	36,70	36,60
Fundo		1,00	4,30	5,20	5,90	5,90	5,90

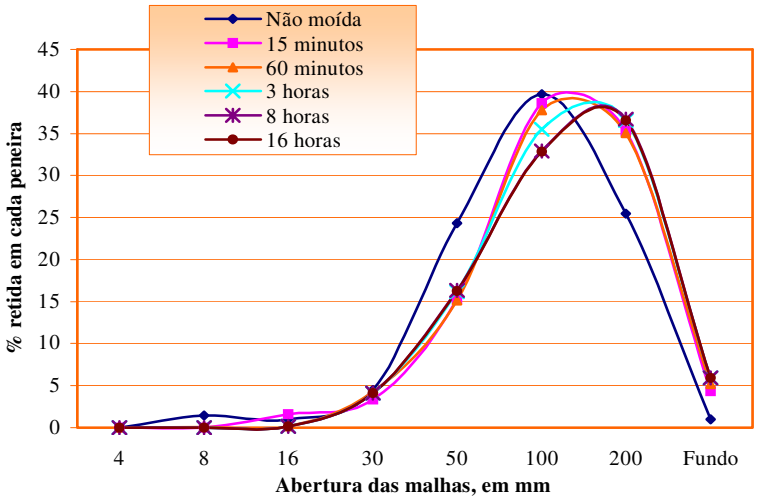

Figura 23. Peneiramento da cinza de bagaço de cana-de-açúcar a partir de uma amostra inicial de 5 kg sob diferentes tempos de moagem.

Quadro 29. Peneiramento da cinza de bagaço de cana-de-açúcar a partir de uma amostra inicial de 3 kg sob diferentes tempos de moagem

Peneiras		% retida em cada peneira após moagem durante					
nº	mm	Não moída	15 minutos	60 minutos	3 horas	8 horas	16 horas
4	4,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	2,4	1,44	0,40	0,05	0,05	0,05	0,05
16	1,2	0,96	1,20	0,80	0,70	0,65	0,70
30	0,6	4,50	4,90	4,90	3,60	3,80	3,75
50	0,3	24,36	8,50	8,20	8,30	8,30	8,30
100	0,15	39,68	40,20	40,30	41,50	41,80	41,90
200	< 0,15	25,46	36,10	36,90	38,50	36,60	36,50
Fundo		1,00	4,90	5,20	6,30	7,20	7,20

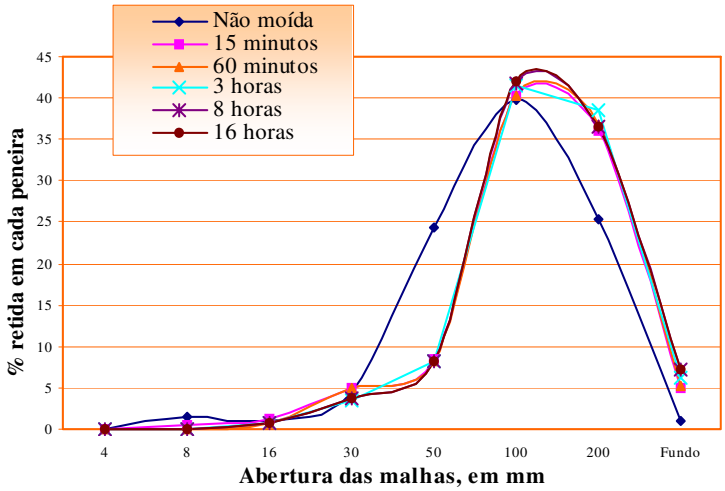

Figura 24. Peneiramento da cinza de bagaço de cana-de-açúcar a partir de uma amostra inicial de 3 kg sob diferentes tempos de moagem.

Analisando-se os resultados obtidos, pode-se observar que, para ambas as quantidades de cinza introduzidas no moinho de bolas (3 e 5 kg), maior grau de finura foi alcançado com o tempo de moagem de três horas, sendo que acima desse tempo, os resultados foram praticamente iguais.

Tomando-se como referência as quantidades de cinzas retidas nas peneiras nº 200 (< 0,15 mm) e fundo, pode-se observar, pelo exame do Quadro 28, que os acréscimos porcentuais verificados no grau de finura, em relação à testemunha (cinza não moída), foram de aproximadamente 46 - 52 - 61 - 61 - 61% para os tempos de moagem 15 min – 60 min – 3 h – 8 h – 16 h, respectivamente, a partir de uma amostra inicial de 5kg. Partindo de uma amostra inicial de 3 kg (Quadro 29), os acréscimos porcentuais verificados foram de 55 - 59 - 69 - 65 - 65% para os mesmos tempos de moagem, respectivamente. Tendo em vista o exposto, pode-se concluir que é mais eficiente a moagem de menores quantidades de cinzas (3 kg e não 5 kg), uma vez que se conseguiu maior grau de finura para o mesmo tempo de moagem, cujos resultados, embora não fundamentados em análise estatística, estão a indicar que não há grandes diferenças entre os tempos de moagem quanto ao seu efeito sobre o grau de finura das cinzas moídas.

A composição química da cinza de bagaço de cana-de-açúcar está apresentada no Quadro 30.

Quadro 30. Composição química da cinza de bagaço de cana-de-açúcar da Usina Furlan, SP.

Elemento	Teor	Elemento	Teor
Cálcio	0,25 %	Magnésio	0,16 %
Cádmio	< 2 ppm	Mercúrio	< 0,05 ppm
Carbono	4,43 %	Niquel	5 ppm
Chumbo	< 2ppm	Nitrogênio	< 0,1 %
Cobre	23 ppm	Potássio	0,46 %
Cromo	32 ppm	Sódio	36 ppm
Hidrogênio	0,47 %		

Observando-se a composição química das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, tal como registrada no Quadro 30, pode-se concluir que os valores característicos obtidos se assemelham aos de outras cinzas relatadas pela bibliografia consultada.

Infelizmente, por limitação própria do laboratório que realizou a análise química das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar, não se determinou o teor de sílica.

O teor de umidade médio das cinzas recém-chegadas da Usina foi igual a 17,5%; depois de secas ao ar, durante vários dias, o teor de umidade das cinzas reduziu-se a 2,4%. A massa específica aparente seca média foi igual a 20,6 kN/m^3.

4.2.1. ENSAIOS APLICADOS ÀS MISTURAS DE CIMENTO-CINZA

A água da pasta de consistência normal das diferentes combinações de cimento-cinza foi determinada de acordo com as normas pertinentes, estando os resultados mostrados no Quadro 31 e na Figura 25.

Quadro 31. Resultados do ensaio de determinação da água da pasta de consistência normal

Combinações	**Cimento**	**Cinza**	**Água**	**Consistência (mm)**	**Relação a/c** (*)
C_1	500	-	130,0	5	0,260
C_2	450	50	130,0	7	0,260
C_3	400	100	131,5	7	0,263
C_4	350	150	131,5	7	0,263
C_5	300	200	132,8	6	0,265
C_6	250	250	136,8	7	0,273
C_7	200	300	149,0	7	0,298
C_8	150	350	160,0	7	0,320
C_9	100	400	174,0	7	0,348
C_{10}	50	450	200,0	6	0,400

(*) a/c = água/cimento-cinza

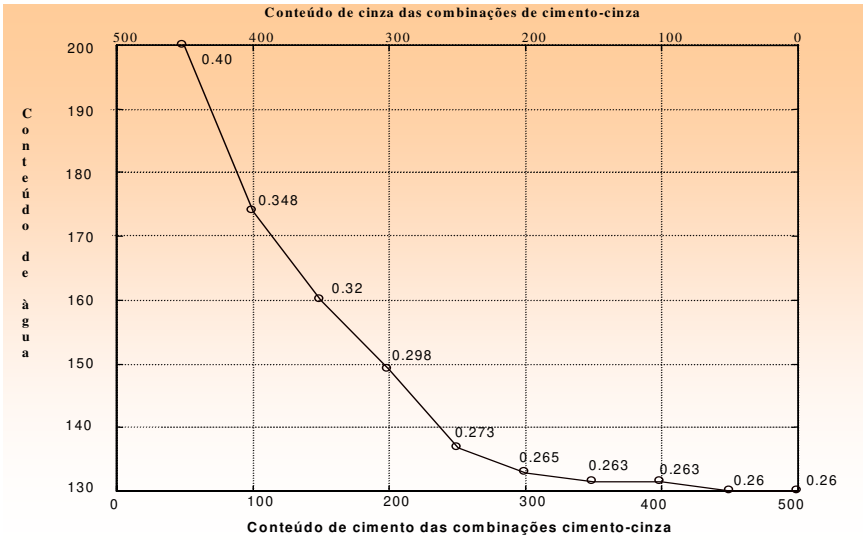

Figura 25. Resultados do ensaio de determinação da água da pasta de consistência normal.

Pelos motivos já explanados anteriormente, a resistência à compressão simples, aos 7 e 28 dias, foi determinada apenas para as combinações C_1 a C_6, estando os resultados apresentados no Quadro 32 e na Figura 26**.**

Quadro 32. Resistência à compressão simples, aos 7 e 28 dias, de corpos-de-prova confeccionados com diferentes combinações de cimento Portland/cinza de bagaço de cana-de-açúcar

Parâmetros		Resistência à compressão simples (MPa)					
		C_1	**C_2**	**C_3**	**C_4**	**C_5**	**C_6**
Resistência à compressão simples aos 7 dias	A	23,25	22,12	21,45	18,40	10,44	7,03
	B	23,51	21,66	21,54	16,55	10,03	6,74
	C	25,44	23,80	19,80	17,36	11,12	6,33
	Média	**24,07**	**22,53**	**20,93**	**17,44**	**10,53**	**6,70**
	Desvio Padrão Médio	1,20	1,13	0,98	0,93	0,55	0,36
Resistência à compressão simples aos 28 dias	A	27,55	28,32	25,21	25,80	11,45	9,88
	B	30,78	30,11	28,12	25,08	12,51	11,05
	C	29,12	28,55	26,34	26,22	12,58	10,55
	Média	**29,15**	**28,99**	**26,56**	**25,70**	**12,18**	**10,49**
	Desvio Padrão Médio	1,62	0,98	1,47	0,58	0,64	0,59

Legenda

C_1 - 100% de cimento - 0% de cinza
C_2 - 90% de cimento - 10% de cinza
C_3 - 80% de cimento - 20% de cinza
C_4 - 70% de cimento - 30% de cinza
C_5 - 60% de cimento - 40% de cinza
C_6 - 50% de cimento - 50% de cinza

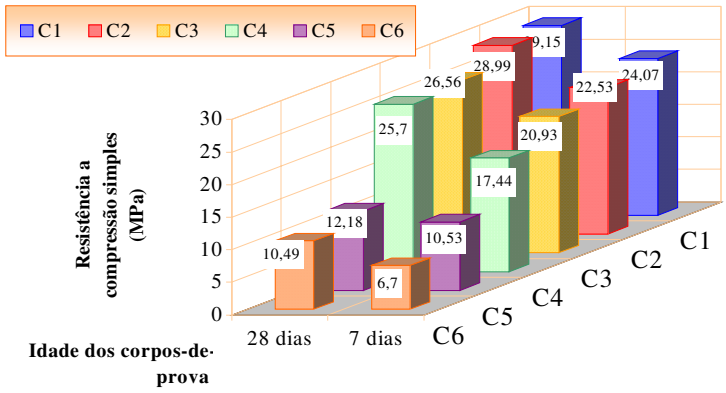

Figura 26. Resistência à compressão simples, aos 7 e 28 dias, de corpos-de-prova confeccionados com diferentes combinações de cimento Portland/cinza de bagaço de cana-de-açúcar

A análise de variância aplicada aos dados de resistência à compressão simples mostrou, ao nível de 5% de probabilidade estatística, alto grau de significância para combinações, sendo os maiores valores de resistência alcançados pelas combinações C_1 (100% de cimento - 0% de cinza) e C_2 (90% de cimento - 10% de cinza) e o menor valor, pela combinação C_6 (50% de cimento - 50% de cinza). As combinações C_2 e C_3 (80% de cimento - 20% de cinza) não foram diferentes entre si, assim como as combinações C_3 e C_4 (70% de cimento - 30% de cinza). A seguinte ordem decrescente foi observada para as combinações cimento/cinza: $(C_1=C_2) > (C_2=C_3) > (C_3=C_4) > C_5 > C_6$.

Referidos à idade de 7 dias, os maiores valores de resistência à compressão simples foram alcançados pelos tratamentos C_1, C_2 e C_3, iguais entre si e superiores aos demais; o menor valor de resistência foi apresentado pelo tratamento C_6, situando-se os demais tratamentos em patamares intermediários de acordo com a seguinte ordem decrescente: $(C_1 = C_2 = C_3) > (C_3 = C_4) > C_5 > C_6$.

Considerados aos 28 dias, a análise estatística mostrou que os maiores valores de resistência foram alcançados pelas combinações C_1, C_2, C_3 e C_4, iguais entre si, enquanto que os menores valores foram apresentados pelas combinações C_5 e C_6, as quais, ao nível de 5% de probabilidade estatística, não diferiram entre si.

Para todas as combinações, com exceção de C_5 (60% de cimento - 40% de cinza), os valores de resistência à compressão simples sempre foram maiores aos 28 dias do que aos 7 dias.

O aumento do teor de cinzas, nas diferentes combinações de cimento-cinza testadas, provocou decréscimos significativos na resistência à compressão simples dos corpos-de-prova confeccionados com cimento Portland/cinza de bagaço de cana-de-açúcar a partir da incorporação de 30% de cinza na mistura, em ambas as idades. Tais resultados indicam a possibilidade de substituir até 20% do cimento Portland por cinza de bagaço de cana-de-açúcar, sem prejuízo da resistência à compressão simples.

Em relação à combinação C_1 (100% de cimento e 0% de cinza), as reduções porcentuais nos valores da resistência à compressão simples foram de 1,9 - 8,8 - 11,5 - 58,2 - 64,0%, para as combinações C_2 - C_3 - C_4 - C_5 - C_6, respectivamente, para corpos-de-prova rompidos aos 28 dias; para corpos-de-prova rompidos aos 7 dias, as reduções foram de 6,4 - 13,0 - 27,5 - 56,2 - 72,2%, respectivamente.

4.2.2. ENSAIOS APLICADOS ÀS MISTURAS DE SOLO-CIMENTO-CINZA

Os valores da massa específica aparente seca máxima e da umidade ótima das diferentes misturas de solo-cimento-cinza, obtidos do ensaio de compactação normal de Proctor, estão mostrados no Quadro 33 e nas Figuras 27 e 28.

Quadro 33. Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{máx}$) e umidade ótima (h_{ot}) do ensaio de compactação das misturas (tratamentos) de solo-cimento-cinza

Parâmetros		**Tratamentos**					
		Solo argiloso			Solo arenoso		
		T_1	T_2	T_5	T_6	T_7	T_{10}
$\gamma_{máx}$ (kN/m^3)	A	15,60	15,48	15,68	19,90	19,60	19,50
	B	15,61	15,84	15,75	19,10	18,80	19,32
	C	15,66	15,97	15,80	18,80	18,80	18,90
	Média	**15,62**	**15,77**	**15,74**	**19,28**	**19,10**	**19,24**
	Desvio Padrão Médio	0,03	0,25	0,06	0,57	0,46	0,31
h_{ot} (%)	A	27,96	27,29	27,58	11,70	13,10	13,25
	B	27,81	26,89	27,30	11,20	12,60	12,95
	C	27,62	27,29	27,80	11,90	12,90	13,05
	Média	**27,80**	**27,16**	**27,56**	**11,60**	**12,85**	**13,01**
	Desvio Padrão Médio	0,17	0,23	0,25	0,36	0,25	0,15

Legenda
T_1 - Solo argiloso
T_2 - Solo argiloso + 3% de cimento
T_5 - Solo argiloso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar)
T_6 - Solo arenoso
T_7 - Solo arenoso + 3% de cimento
T_{10} - Solo arenoso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar

O teste de Tukey, aplicado aos dados obtidos do ensaio de compactação, revelou que os maiores valores de massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{máx}$) foram apresentados pelos tratamentos T_6 (solo arenoso), T_7 (solo arenoso + 3% de cimento) e T_{10} [solo arenoso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinza)] que, ao nível de 5% de probabilidade estatística, não diferiram entre si.

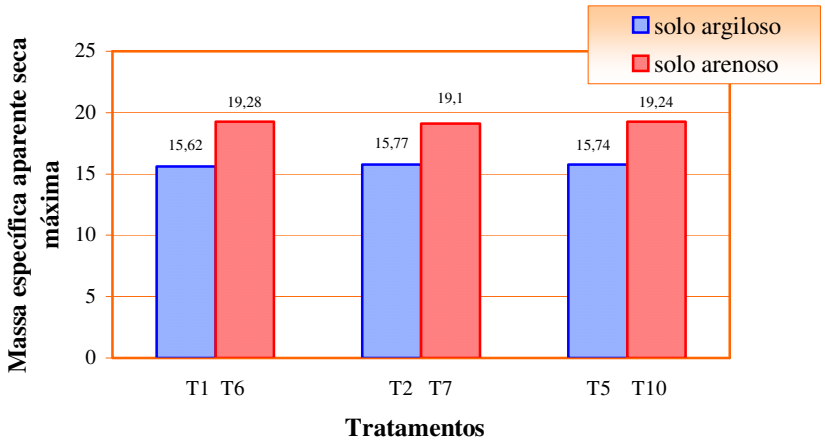

Figura 27. Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{máx}$) do ensaio de compactação das misturas (tratamentos) de solo-cimento-cinza.

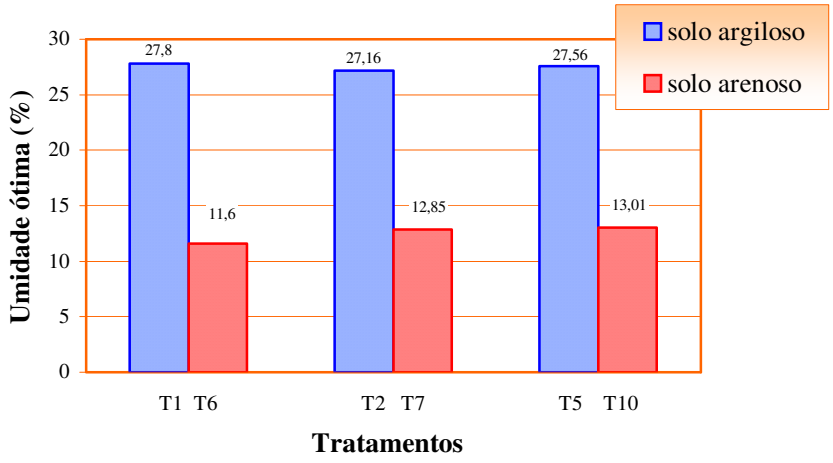

Figura 28. Umidade ótima (h_{ot}) do ensaio de compactação das misturas (tratamentos) de solo-cimento-cinza.

Os menores valores, por outro lado, foram apresentados pelos tratamentos T_1 (solo argiloso), T_2 (solo argiloso + 3% de cimento) e T_5 [solo argiloso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas)]. O que se pode depreender dessa análise é que a substituição parcial do cimento Portland por 20% de cinzas na mistura não provocou qualquer modificação significativa nos valores da massa específica aparente seca máxima de ambos os solos, tratados ou não com cimento. Por outro lado, os corpos-de-prova moldados com solo arenoso apresentaram sempre maiores valores de massa específica aparente seca máxima do que com solo argiloso.

Com relação à umidade ótima de compactação, o teste de Tukey, aplicado às medias de umidade, mostrou que, ao contrário do verificado para a massa específica aparente seca máxima, os maiores valores estão associados aos tratamentos T_1, T_2 e T_5, iguais entre si e superiores aos demais; o menor valor, no caso, foi apresentado pelo tratamento T_6, situando-se os tratamentos T_7 e T_{10}, estatisticamente iguais entre si, em nível intermediário. O solo argiloso, que apresentou os menores valores de massa específica aparente seca máxima, apresentou, também, os maiores valores de umidade ótima; o contrário vale, também, para o caso do solo arenoso.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão simples, aos 28 e 60 dias, de corpos-de-prova confeccionados com diferentes misturas de solo-cimento-cinza estão mostrados no Quadro 34 e na Figuras 29.

Quadro 34. Resistência à compressão simples (MPa), aos 28 e 60 dias, de corpos-de-prova confeccionados com diferentes misturas de solo-cimento-cinza

Parâmetros		**Tratamentos**					
		Solo argiloso			Solo arenoso		
		T_1	T_2	T_5	T_6	T_7	T_{10}
Resistência à compressão simples aos 28 dias	A	1,46	1,78	1,75	1,26	1,95	1,94
	B	1,50	1,90	1,86	1,40	1,90	1,92
	C	1,42	1,71	1,94	1,34	1,93	1,96
	Média	**1,46**	**1,79**	**1,85**	**1,33**	**1,92**	**1,94**
	Desvio Padrão Médio	0,04	0,10	0,10	0,07	0,03	0,02
Resistência à compressão simples aos 60 dias	A	1,56	1,92	1,95	1,55	2,01	2,05
	B	1,62	1,90	1,98	1,59	2,05	2,09
	C	1,72	2,09	2,05	1,62	2,20	2,00
	Média	**1,63**	**1,97**	**1,99**	**1,58**	**2,08**	**2,04**
	Desvio Padrão Médio	0,08	0,11	0,05	0,04	0,10	0,05

Legenda

T_1 – Solo argiloso
T_2 – Solo argiloso + 3% de cimento
T_5 – Solo argiloso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar)
T_6 – Solo arenoso
T_7 – Solo arenoso + 3% de cimento
T_{10} – Solo arenoso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar

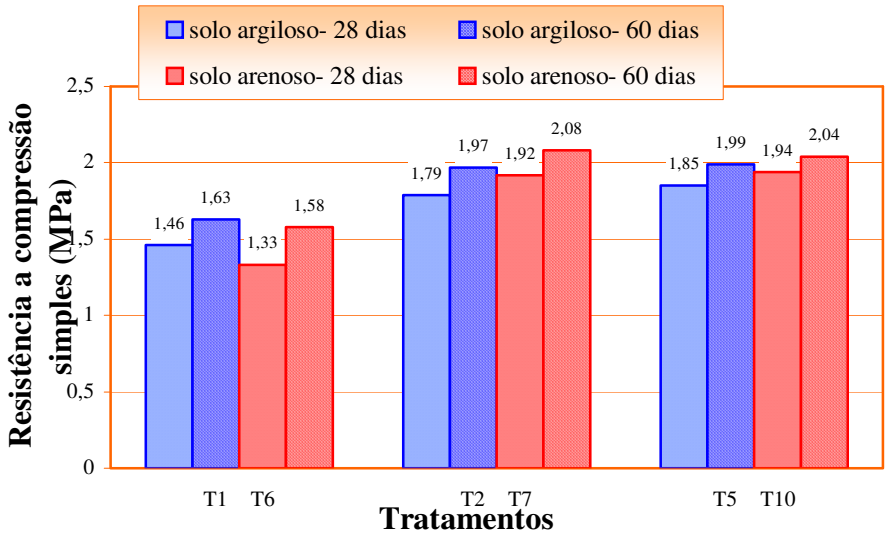

Figura 29. Resistência à compressão simples (MPa), aos 28 e 60 dias, de corpos-de-prova confeccionados com diferentes misturas de solo-cimento-cinza.

No que diz respeito à resistência à compressão simples de corpos-de-prova de solo-cimento-cinza, o teste de Tukey, aplicado às médias de tratamentos, mostrou que, independentemente das idades consideradas, não houve qualquer diferença significativa entre os tratamentos.

O mesmo resultado foi revelado quando se tomava como referência a idade de ruptura de 28 dias; já, aos 60 dias, e ao nível de 5% de significância estatística, o teste de Tukey mostrou que os tratamentos T_7 e T_{10}, iguais entre si, alcançaram os maiores valores de resistência à compressão simples, estando os menores valores associados aos tratamentos T_1 e T_6, também iguais entre si, e testemunhas dos solos argiloso e arenoso, respectivamente. Em ambos os solos, a incorporação de 3% de cimento Portland ou sua substituição parcial por 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, aumentaram os valores da resistência à compressão simples dos corpos-de-prova de solo-cimento-cinza rompidos aos 60 dias de idade.

Os resultados do ensaio de absorção de água aplicado aos tratamentos em estudo estão mostrados no Quadro 35 e na Figura 30.

Quadro 35. Absorção de água, em porcentagem, dos corpos-de-prova de solo-cimento-cinza.

Parâmetro		Tratamentos					
		Solo argiloso			Solo arenoso		
		T_1	T_2	T_5	T_6	T_7	T_{10}
Absorção de água (%)	A	-	15,00	15,35	-	13,55	13,50
	B	-	15,40	15,78	-	13,68	13,95
	C	-	15,80	16,05	-	13,90	13,25
	Média	**-**	**15,40**	**15,72**	**-**	**13,71**	**13,56**
	Desvio Padrão Médio		0,40	0,35		0,18	0,36

Legenda

T_1 - Solo argiloso
T_2 - Solo argiloso + 3% de cimento
T_5 - Solo argiloso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar)
T_6 - Solo arenoso
T_7 - Solo arenoso + 3% de cimento
T_{10} - Solo arenoso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar

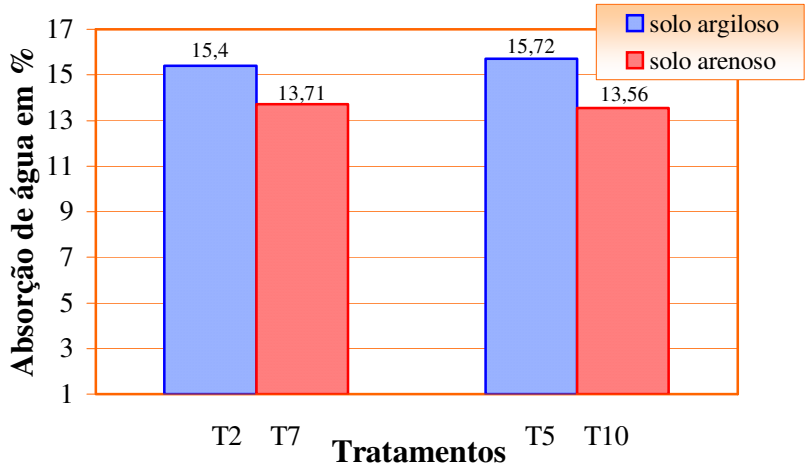

Figura 30. Absorção de água, em porcentagem, dos corpos-de-prova de solo-cimento-cinza.

Não foi possível aplicar o ensaio de absorção de água aos corpos-de-prova de solo em estado natural, pois os mesmos se desmanchavam tão logo fossem imersos em água, motivo pelo qual a testemunha passou a ser, neste caso, o solo tratado com 3% de cimento.

Como pode se observar a partir dos resultados deste ensaio, os tratamentos T_{10} [solo arenoso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinza)] e T_7 (solo arenoso + 3% de cimento) foram os que levaram aos menores valores de absorção de água, sendo ambos estatisticamente iguais entre si. Por outro lado, os tratamentos T_2 (solo argiloso +3% de cimento) e T_5 [solo argiloso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinza)], iguais entre si, apresentaram os maiores valores de absorção de água. Os corpos-de-prova com solo argiloso absorveram mais água do que os corpos-de-prova com solo arenoso.

4.3. TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO-FIBRA

Após a realização dos ensaios preliminares, mediante os quais foram definidos os diferentes tratamentos e caracterizados os materiais utilizados nesta pesquisa, procedeu-se à confecção dos tijolos. De maneira geral, a trabalhabilidade das misturas de solo-cimento-fibra foi boa, no que se refere à moldagem e manipulação dos tijolos, embora aqueles moldados com solo arenoso tenham se comportado melhor que aqueles com solo argiloso. Imediatamente após o moldagem, cada um dos tijolos era cuidadosamente pesado e medido, para obtenção do peso específico aparente seco individual. Os tijolos feitos de conformidade com os tratamentos T_1, T_2, T_6 e T_7 não tiverem modificações em suas dimensões no que diz respeito aos valores estabelecidos pela norma **NBR 08491** (Tijolo maciço de solo-cimento), como se pode observar no Quadro 36.

Os tijolos confeccionados com solo, cimento e fibras, apresentaram variações em sua altura superiores ao estabelecido pela norma (± 3 mm), ou sejam, 12 mm e 13 mm, respectivamente, para os tratamentos T_9 e T_4, em relação à dimensão padrão (50 mm), representando esses valores acréscimos de 24 e 26%. Essas diferenças de altura podem ser claramente visualizadas na Figura 31.

Foram também determinados o peso inicial (logo após moldagem) e o peso após decorridas 72 horas, com a finalidade de se conhecer a perda de peso que os tijolos apresentavam durante o processo de cura e endurecimento.

Quadro 36. Variação dimensional dos tijolos

Parâmetros		Tijolos com diferentes misturas de solo-cimento-fibra							
		Solo argiloso				Solo arenoso			
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_6	T_7	T_8	T_9
Dimensões médias dos tijolos, em mm	Comprimento	230	230	230	230	230	230	230	230
	Largura	110	110	110	110	110	110	110	110
	Altura	50	50	56	63	50	50	55	62

Legenda

T_1 - Solo argiloso
T_2 - Solo argiloso + 3% de cimento
T_3 - Solo argiloso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_4 - Solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_6 - Solo arenoso
T_7 - Solo arenoso + 3% de cimento
T_8 - Solo arenoso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_9 - Solo arenoso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar

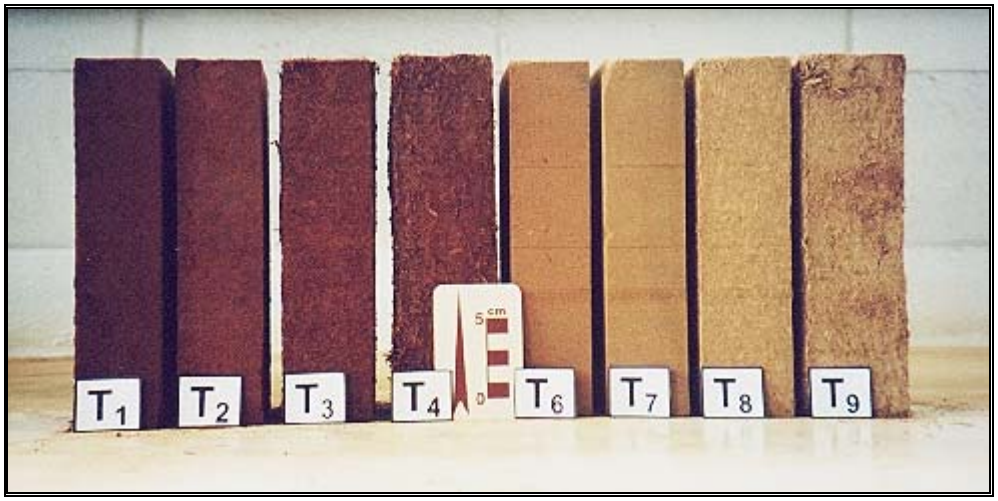

Figura 31. Tijolos com tratamentos T_1, T_2, T_3, T_4, T_6, T_7, T_8 e T_9

Ao mesmo tempo, calculou-se os valores médios da massa específica aparente dos tijolos correspondentes a cada tratamento; e, como a energia de compressão aplicada pela máquina de fabricação de tijolos é variável, conforme os tijolos ocupem as posições central ou laterais nos três moldes da máquina, as determinações foram feitas para cada caso, estando os resultados apresentados no Quadro 37 e representados na Figura 32.

Quadro 37. Valores médios da massa específica aparente dos tijolos de solo-cimento-fibra por ocasião da moldagem e após decorridas 72 horas.

Massa específica aparente (kN/m³)		Tratamentos							
		Solo argiloso				Solo arenoso			
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_6	T_7	T_8	T_9
Tijolos laterais	Na moldagem	18,47	18,99	13,62	12,1	19,6	19,68	15,88	12,8
	Após 72 horas	16,24	17,81	13,16	11,6	18,5	18,62	14,8	12,1
Tijolos do meio	Na moldagem	18,55	19,11	14,9	12,1	19,8	19,92	16,11	12,9
	Após 72 horas	17,32	18,08	14,09	11,5	18,7	18,7	15,08	12,2

Legenda

T_1 - Solo argiloso
T_2 - Solo argiloso + 3% de cimento
T_3 - Solo argiloso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_4 - Solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_6 - Solo arenoso
T_7 - Solo arenoso + 3% de cimento
T_8 - Solo arenoso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_9 - Solo arenoso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar

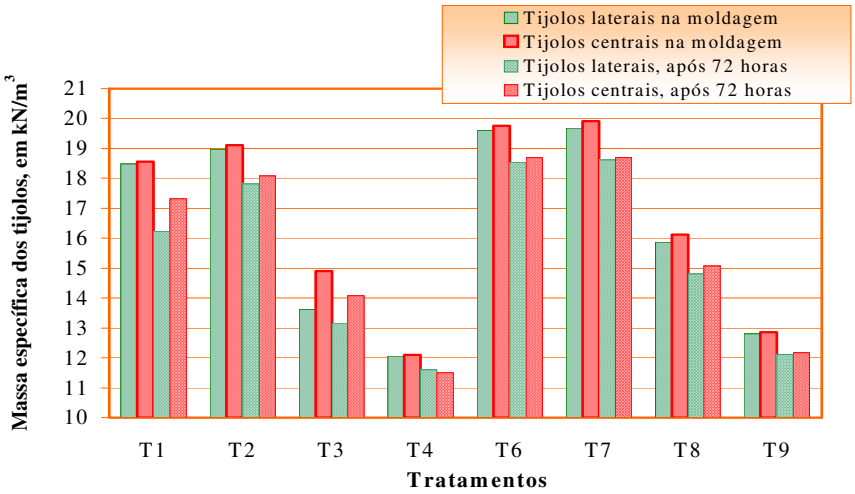

Figura 32. Massa específica dos tijolos de solo-cimento-fibra

O teste de Tukey, aplicado às médias de tratamentos, mostrou que, ao nível de 5% de significância estatística e independentemente das épocas consideradas, os maiores valores de massa específica aparente foram alcançados pelos tijolos moldados de

conformidade com os tratamentos T_2, T_6 e T_7, iguais entre si e superiores a todos os demais; os menores valores, por outro lado, estavam associados aos tratamentos T_4 e T_9, que estatisticamente não diferiram entre si. Os demais tratamentos ocuparam posições intermediárias.

Dessa análise depreende-se que a incorporação de fibras à mistura de solo e cimento reduz proporcionalmente a massa específica aparente dos tijolos, pois os menores valores foram apresentados pelo tratamento de ambos os solos com 3% de cimento e 20% de fibras, seguido de perto pelo tratamento com 10% de fibras.

Consideradas separadamente as posições dos tijolos nos moldes da máquina, o teste de Tukey permitiu concluir que, tanto por ocasião da moldagem como após decorridas 72 horas, e tanto para os tijolos laterais como para os centrais, os tratamentos T_1, T_2, T_6 e T_7, ou seja, aqueles que não incluíam fibras, apresentaram os maiores valores de massa específica aparente; por outro lado, os tratamentos T_4 e T_9, ou seja, aqueles com inclusão de 20% de fibras, levaram aos menores valores de massa específica aparente, na maioria dos casos igualando-se também ao tratamento T_3 (solo argiloso + 3% de cimento + 10% de fibra).

Por ocasião da moldagem e independentemente dos tratamentos, a massa específica aparente dos tijolos foi sempre maior do que após 72 horas, quer para os tijolos laterais quer para os centrais. Considerados em separado, apenas os tratamentos T_1, T_2 e T_8 apresentaram diferenças nos valores da massa específica aparente dos tijolos em função da sua posição nos moldes da máquina.

Durante a preparação dos corpos-de-prova de tijolos para os ensaios de compressão simples, os tijolos correspondentes aos tratamentos T_3 e T_4, ou seja, tijolos de solo argiloso tratados com 3% de cimento e 10 e 20% de fibras, respectivamente, depois de serrados ao meio, colados com pasta de cimento e imersos em água durante 24 horas, desmanchavam-se ao serem retirados, tal como pode ser visualizado na Figura 33.

Figura 33. Estado dos tijolos dos tratamentos T_3 e T_4 depois de 24 horas de imersão em água.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão simples, aos 7, 28 e 60 dias, dos tijolos confeccionados com diferentes tratamentos de solo-cimento-fibra, estão mostrados no Quadro 38 e Figura 34.

Aplicado aos dados de resistência à compressão simples dos tijolos de solo-cimento-fibra, o teste de Tukey mostrou que, independentemente da idade considerada, o tratamento T_9 (solo arenoso + 3% de cimento + 20% de fibra) apresentou o maior valor de resistência à compressão; os menores valores, por outro lado, estiveram associados aos tratamentos T_7 (solo arenoso + 3% de cimento) e T_2 (solo argiloso + 3% de cimento), estatisticamente iguais entre si, apresentando o tratamento T_8 (solo arenoso + 3% de cimento + 10% de fibra) valor intermediário.

Para as médias dos tratamentos dentro do fator idade, os tratamentos T_8 e T_9 alcançaram maiores valores aos 7 e 28 dias, em relação aos tratamentos T_2 e T_7, o mesmo não ocorrendo aos 60 dias, quando o maior valor (2,8 MPa) foi alcançado pelo tratamento T_9, seguido pelo tratamento T_8, e ambos estatisticamente diferentes e superiores a T_2 e T_7, iguais entre si.

Quadro 38. Resistência à compressão simples (MPa), aos 7, 28 e 60 dias, dos tijolos confeccionados com diferentes tratamentos de solo-cimento-fibra.

Parâmetros		**Tratamentos**							
		Solo argiloso				Solo arenoso			
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_6	T_7	T_8	T_9
Resistência à compressão simples aos 7 dias	A	-	0,19	-	-	**-**	0,34	0,78	1,10
	B	-	0,22	-	-	**-**	0,39	0,79	1,06
	C	-	0,28	-	-	**-**	0,34	0,84	0,98
	D	-	0,24	-	-	**-**	0,34	0,77	0,97
	Média	-	**0,23**	-	-	**-**	**0,35**	**0,79**	**1,03**
	Desvio Padrão Médio	-	0,04	-	-	-	0,03	0,03	0,06
Resistência à compressão simples aos 28 dias	A	-	0,25	-	-	-	0,49	1,64	2,15
	B	-	0,26	-	-	-	0,46	1,71	2,10
	C		0,30				0,48	1,68	2,24
	D	-	0,28	-	-	-	0,42	1,75	2,17
	Média	-	**0,27**	-	-	-	**0,46**	**1,695**	**2,165**
	Desvio Padrão Médio	-	0,02	-	-	-	0,03	0,047	0,058
Resistência à compressão simples aos 60 dias	A	-	0,35	-	-	-	0,50	1,85	2,84
	B	-	0,28	-	-	-	0,48	1,87	2,72
	C	-	0,32	-	-	-	0,54	1,90	2,76
	D	-	0,25	-	-	-	0,48	1,95	2,88
	Média	-	**0,30**	-	-	-	**0,50**	**1,89**	**2,80**
	Desvio Padrão Médio	-	0,04	-	-	-	0,03	0,04	0,07

Legenda

T_1 - Solo argiloso
T_2 - Solo argiloso + 3% de cimento
T_3 - Solo argiloso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_4 - Solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_6 - Solo arenoso
T_7 - Solo arenoso + 3% de cimento
T_8 - Solo arenoso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_9 - Solo arenoso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar

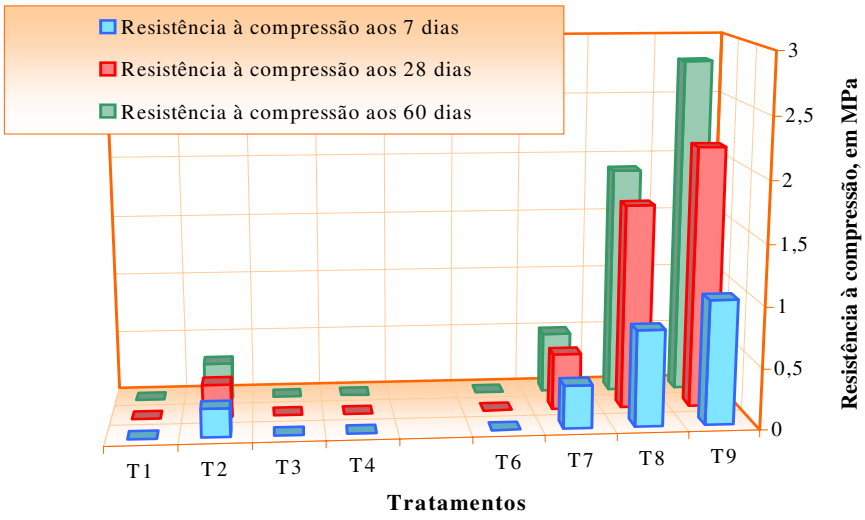

Figura 34. Resistência à compressão aos 7, 28 e 60 dias, dos tijolos de solo-cimento-fibra

Para as médias de idades, os resultados mostraram que não existem diferenças significativas entre as idades de 28 e 60 dias, ambas apresentando valores de resistência superiores aos referidos ao 7º dia. Todavia, se considerados os tratamentos em separado, não há diferença alguma entre as idades para os tratamentos T_2 e T_7 (solos argiloso e arenoso tratados com 3% de cimento, respectivamente). A incorporação de fibras ao solo arenoso, porém, faz com que aos 60 dias de idade a resistência à compressão fosse sempre maior do que aos 7 dias (tratamentos T_8 e T_9); no caso do tratamento T_8, nenhuma diferença foi constatada entre os 28 e 60 dias ao contrário do tratamento T_9, quando aos 60 dias, a resistência à compressão foi maior do que aos 28 dias, e ambas maiores do que aos 7 dias.

O ganho de resistência dos tijolos de solo arenoso confeccionados com 20% de fibras, ao longo do tempo, pode ser atribuído não apenas às reações de endurecimento do cimento, mas, principalmente, à secagem do material submetido ao processo de cura ao ar livre. A mesma explicação pode ser extendida aos tijolos confeccionados com 10% de fibras, muito embora não tenham sido constatadas diferenças estatisticamente significativas nos valores de resistência aos 28 e 60 dias.

Os resultados do ensaio de absorção de água dos tijolos de solo-cimento-fibra estão apresentados no Quadro 39 e na Figura 35.

.

Quadro 39. Resultados do ensaio de absorção de água dos tijolos confeccionados com solo-cimento-fibra.

Parâmetro		Tratamentos							
		Solo argiloso				Solo arenoso			
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_6	T_7	T_8	T_9
Absorção de água, em %	A	-	21,90	32,66	36,42	-	13,09	22,62	29,57
	B	-	22,68	31,25	36,25	-	13,60	23,54	30,15
	C	-	21,77	31,81	37,50	-	13,42	22,10	30,45
	Média	**-**	**22,61**	**31,90**	**36,72**	**-**	**13,09**	**22,75**	**30,05**
	Desvio Padrão Médio		0,49	0,71	0,68		0,26	0,73	0,45

Legenda

T_1 - Solo argiloso
T_2 - Solo argiloso + 3% de cimento
T_3 - Solo argiloso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_4 - Solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_6 - Solo arenoso
T_7 - Solo arenoso + 3% de cimento
T_8 - Solo arenoso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_9 - Solo arenoso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar

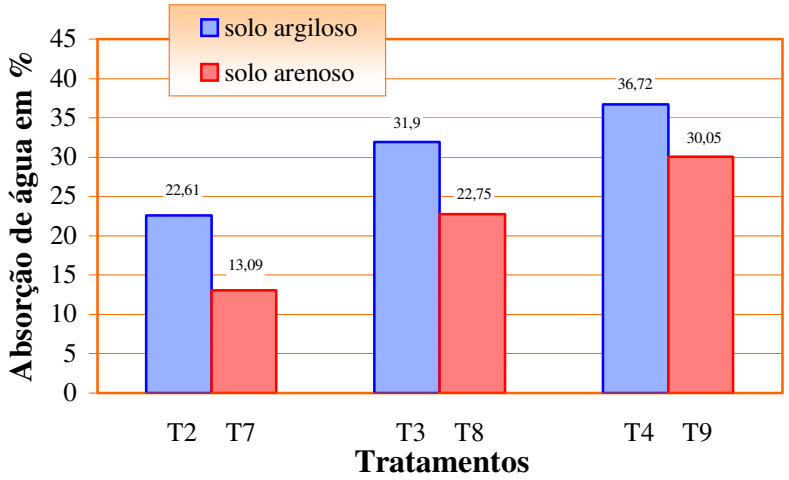

Figura 35. Porcentagem de absorção de água dos tijolos de solo-cimento-fibra

Apenas o tratamento T_7 (solo arenoso + 3% de cimento) apresentou valor médio de absorção de água inferior a 20%, satisfazendo o estabelecido pela norma **NBR 08491** (Tijolo maciço de solo-cimento) para fins de aceitação.

O teste de Tukey, aplicado às médias de tratamentos, mostrou que, independentemente do tipo de solo, o maior valor de absorção de água (36,7%) foi apresentado pelo tratamento T_4 (solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibras) e o menor (13,1%), pelo tratamento T_7 (solo arenoso + 3% de cimento), de acordo com a seguinte ordem decrescente: $T_4 > T_3 > T_9 > (T_8 = T_2) > T_7$.

Separadamente, os tratamentos com solo argiloso apresentaram maiores valores de absorção de água do que os tratamentos com solo arenoso. O aumento do teor de fibras de bagaço de cana-de-açúcar nas misturas de solo-cimento-fibra aumentou proporcionalmente a porcentagem de absorção de água dos tijolos confeccionados com esses materiais, para ambos os solos estudados.

4.4. TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO-CINZA

Os tijolos confeccionados com solo-cimento-cinza foram submetidos aos mesmos procedimentos iniciais aplicados aos tijolos de solo-cimento-fibra. Os valores da massa específica aparente destes tijolos, determinados para ambas as posições ocupadas pelos tijolos nos moldes da máquina de fabricação de tijolos, estão registrados no Quadro 40 e mostrados graficamente na Figura 36.

Quadro 40. Valores médios da massa específica aparente dos tijolos de solo-cimento-cinza por ocasião da moldagem e após decorridas 72 horas.

Massa específica aparente (kN/m^3)		**Tratamentos**					
		Solo argiloso			Solo arenoso		
		T_1	T_2	T_5	T_6	T_7	T_{10}
Tijolos laterais	Na moldagem	18,47	18,99	18,71	19,60	19,68	20,41
	Após 72 horas	16,24	17,81	17,92	18,50	18,62	19,47
Tijolos centrais	Na moldagem	18,55	19,11	19,08	19,80	19,92	20,79
	Após 72 horas	17,32	18,08	18,24	18,70	18,70	19,58

Legenda

T_1 – Solo argiloso
T_2 – Solo argiloso + 3% de cimento
T_5 – Solo argiloso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar)
T_6 – Solo arenoso
T_7 – Solo arenoso + 3% de cimento
T_{10} – Solo arenoso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar

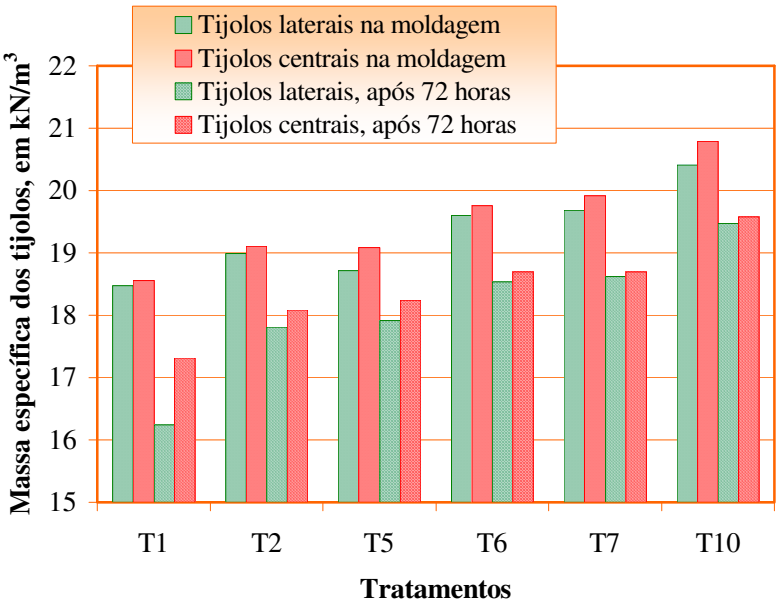

Figura 36. Massa específica aparente dos tijolos com solo-cimento-cinza

O teste de Tukey, aplicado às médias de tratamentos, mostrou que, ao nível de 5% de significância estatística, os tijolos confeccionados conforme o tratamento T_{10} (solo arenoso + 3% de cimento, com 20% de substituição de cimento Portland por cinza de bagaço de cana-de-açúcar) foi o que levou ao maior valor de massa específica aparente (19,58 kN/m^3), enquanto que os menores valores estavam associados aos tratamentos T_1, T_2 e T_5; os tratamentos T_2 e T_5 também não diferiam dos tratamentos T_6 e T_7.

Consideradas separadamente as posições dos tijolos nos moldes da máquina, o teste de Tukey permitiu concluir que os tijolos centralmente localizados apresentaram exatamente a mesma tendência de comportamento, tanto por ocasião da moldagem como após decorridas 72 horas, com os valores de massa específica aparente pouco variando entre si, observando a seguinte ordem decrescente ao nível de 5% de significância estatística: ($T_{10} = T_5 = T_6 = T_7 = T_2$) > ($T_5 = T_6 = T_7 = T_2 = T_1$); os tratamentos T_5, T_6, T_7 e T_2 se aproximaram, em grau de significância, tanto do maior valor como do menor. Os tijolos laterais, todavia, apresentaram maior variação entre os tratamentos, estando o tratamento T_{10} sempre associado ao maior valor, e o tratamento T_1, ao menor.

Independentemente dos tratamentos aplicados, os tijolos, tanto os centrais como os laterais, apresentaram maior valor de massa específica aparente por ocasião da sua moldagem do que após 72 horas, reduzindo seu peso devido à perda d'água por evaporação, durante o período de cura ao ar livre.

As massas específicas aparentes dos tijolos referentes aos tratamentos T_6, T_7 e T_{10}, não apresentaram quaisquer diferenças significativas entre si, tanto no que se refere à posição ocupada nos moldes da máquina como no que se refere ao tempo de cura. Os tratamentos T_2 e T_5, por outro lado, apresentaram, individualmente, o maior valor de massa específica para os tijolos centrais e por ocasião da moldagem; o menor valor, para os tijolos laterais, 72 horas após a moldagem.

Depois de preparados de forma semelhante à já descrita para os tijolos de solo-cimento-fibra, os corpos-de-prova de tijolos de solo-cimento-cinza foram submetidos aos ensaios de compressão simples, estando os resultados registrados no Quadro 41 e representados na Figura 37.

O teste de Tukey, aplicado às medias de tratamentos, mostrou que, ao nível de 5% de significância estatística, os tratamentos T_7 e T_{10} foram iguais entre si e superiores aos tratamentos T_2 e T_5, também iguais entre si; exatamente o mesmo resultado foi verificado aos 7, 28 e 60 dias de idade. Porém, se relacionados à idade, os tijolos rompidos aos 60 dias apresentaram maiores valores de resistência à compressão simples, seguidos pelos tijolos rompidos aos 28 dias e pelos tijolos rompidos aos 7 dias. O tratamento T_2 não apresentou qualquer variação nos valores de resistência tomados em qualquer idade; para os tratamentos T_5 e T_{10}, os maiores valores foram alcançados aos 60 dias e os menores, aos 7 dias, devido não apenas às reações de hidratação do cimento como também ao endurecimento natural resultante da secagem dos tijolos durante o processo de cura ao ar livre.

Quadro 41. Resistência à compressão simples (MPa), aos 7, 28 e 60 dias, dos tijolos confeccionados com diferentes tratamentos de solo-cimento-cinza.

Parâmetros		**Tratamentos**					
		Solo argiloso			Solo arenoso		
		T_1	T_2	T_5	T_6	T_7	T_{10}
Resistência à compressão simples aos 7 dias	A	-	0,19	0,20	-	0,34	0,36.
	B	-	0,22	0,23	-	0,39	0,32
	C	-	0,28	0,26	-	0,34	0,34
	D	-	0,24	0,20	-	0,34	0,36
	Média	-	**0,23**	**0,22**	-	**0,35**	**0,35**
	Desvio Padrão Médio	-	0,04	0,03	-	0,03	0,02
Resistência à compressão simples aos 28 dias	A	-	0,25	0,24	-	0,49	0,42
	B	-	0,26	0,20	-	0,46	0,46
	C	-	0,30	0,25	-	0,48	0,48
	D	-	0,28	0,23	-	0,42	0,40
	Média	-	**0,27**	**0,23**	-	**0,46**	**0,44**
	Desvio Padrão Médio	-	0,02	0,02	-	0,03	0,04
Resistência à compressão simples aos 60 dias	A	-	0,35	0,30	-	0,50	0,56
	B	-	0,28	0,29	-	0,48	0,52
	C	-	0,32	0,25	-	0,54	0,58
	D	-	0,25	0,36	-	0,48	0,49
	Média	-	**0,30**	**0,30**	-	**0,50**	**0,54**
	Desvio Padrão Médio	-	0,04	0,05	-	0,03	0,04

Legenda

T_1 – Solo argiloso
T_2 – Solo argiloso + 3% de cimento
T_5 – Solo argiloso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar)
T_6 – Solo arenoso
T_7 – Solo arenoso + 3% de cimento
T_{10} – Solo arenoso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar

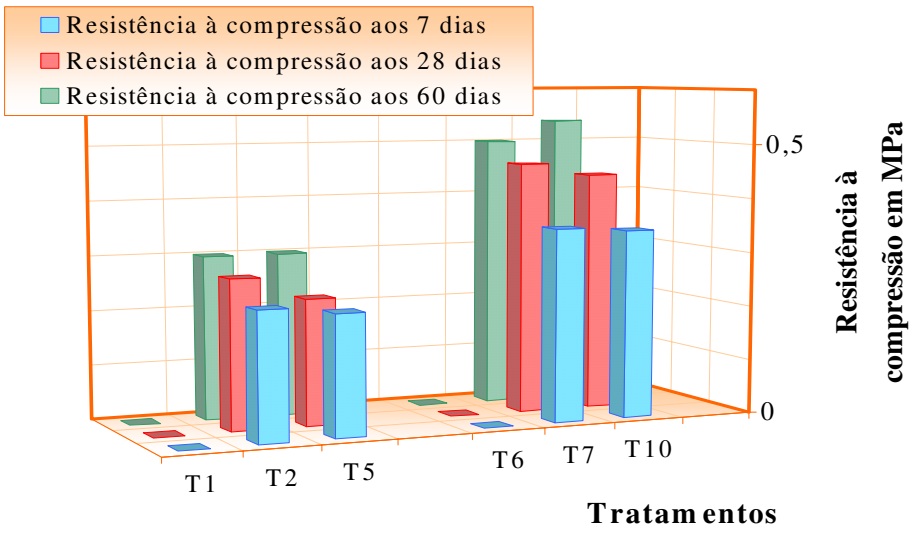

Figura 37. Resistência à compressão aos 7, 28 e 60 dias, dos tijolos de solo-cimento-cinza

Além deste ensaio, os tijolos de solo-cimento-cinza foram submetidos ao ensaio de absorção de água, cujos resultados estão mostrados no Quadro 42 e na Figura 38.

Quadro 42. Resultados do ensaio de absorção de água dos tijolos confeccionados com solo-cimento-cinza

Parâmetros		Tratamentos					
		Solo argiloso			Solo arenoso		
		T_1	T_2	T_5	T_6	T_7	T_{10}
Absorção de água, em %	A	-	21,90	19,10	-	13,09	13,80
	B	-	22,68	22,20	-	13,60	12,35
	C	-	21,77	21,66	-	13,42	12,60
	Média	**-**	**22,61**	**20,98**	**-**	**13,09**	**12,91**
	Desvio Padrão Médio		0,49	1,66		0,26	0,78

Legenda

T_1 – Solo argiloso
T_2 – Solo argiloso + 3% de cimento
T_5 – Solo argiloso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar)
T_6 – Solo arenoso
T_7 – Solo arenoso + 3% de cimento
T_{10} – Solo arenoso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar

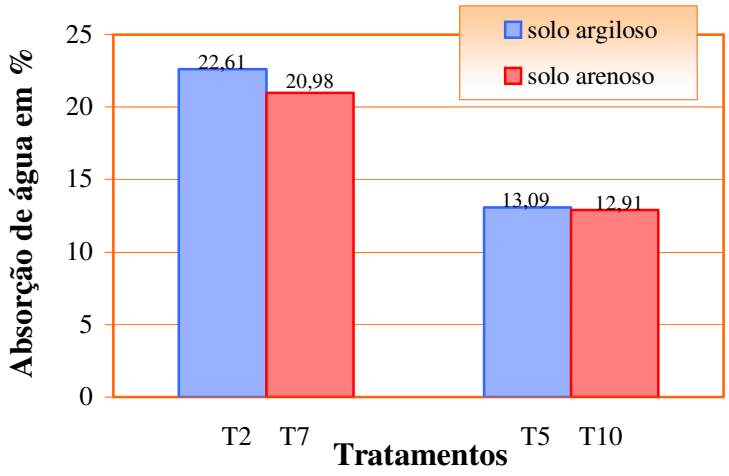

Figura 38. Porcentagem de absorção de água dos tijolos de solo-cimento-cinza

Os tijolos confeccionados com solo arenoso apresentaram valores médios de absorção de água inferiores às médias dos tijolos com solo argiloso, ao nível de 5% de significância. Os tratamentos T_7 (solo arenoso + 3% de cimento) e T_{10} (solo arenoso + 3% de cimento Portland com 20% de substituição por cinzas de bagaço de cana-de-açúcar) não diferiram estatisticamente entre si, apresentando valores médios de absorção de água da ordem de 13,09 e 12,91%, respectivamente, abaixo do limite máximo imposto pela norma **NBR 08491** (Tijolo maciço de solo-cimento) para sua aceitação. Os tratamentos T_2 (solo argiloso + 3% de cimento) e T_5 (solo argiloso + 3% de cimento Portland com 20% de substituição por cinza de bagaço de cana-de-açúcar), iguais entre si quanto ao seu efeito sobre a absorção de água por tijolos de solo-cimento-fibra, ultrapassaram muito pouco o valor limite estabelecido pela norma (20% de absorção de água), apresentando valores médios de 22,61 e 20,98%, respectivamente.

Os resultados indicam que a causa de variação entre os tratamentos foi o tipo de solo e não, propriamente, o tratamento com cimento ou cinza.

4.5. AVALIAÇÃO GERAL DOS TIJOLOS CONFECCIONADOS COM FIBRA E CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Para a avaliação final dos tijolos, os parâmetros utilizados foram aqueles referente às condições exigíveis no recebimento dos tijolos, de acordo o estabelecido pela norma

NBR 08491 (Tijolo maciço de solo-cimento). Os tijolos submetidos a todos os tratamentos estão mostrados na Figura 39.

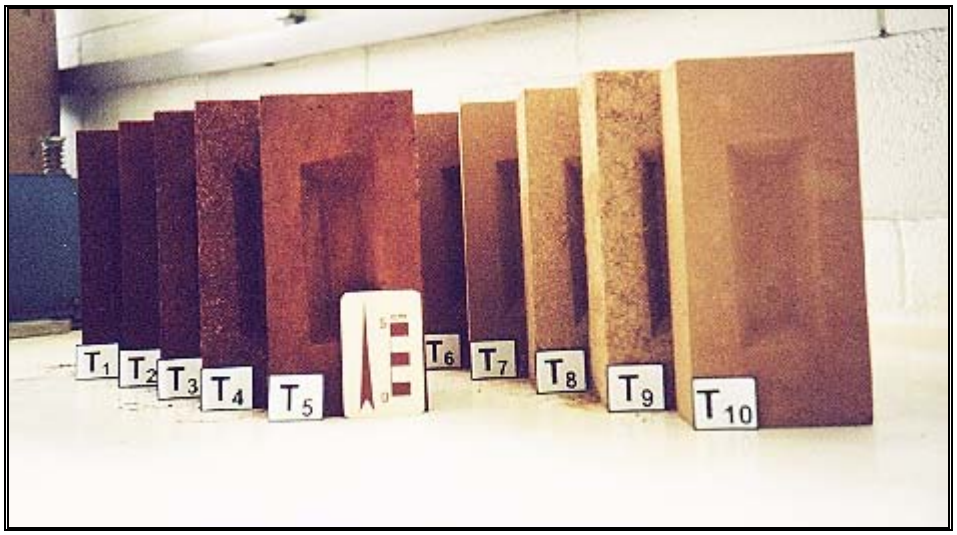

Figura 39. Tijolos referentes aos dez tratamentos definidos no presente trabalho.

Os resultados do ensaio de compressão simples aos 7, 28 e 60 dias dos tijolos submetidos a todos os tratamentos estão mostrados no Quadro 43 e na Figura 40.

Não foi possível aplicar o ensaio de resistência à compressão simples aos tijolos confeccionados apenas com solo em estado natural (T_1, solo argiloso; e T_5, solo arenoso) pois os mesmos se desmanchavam tão logo fossem imersos em água, tal qual ocorrera com os corpos-de-prova; também não se conseguiu aplicar este ensaio aos tijolos referentes aos tratamentos T_3 (solo argiloso + 3% de cimento + 10% de fibras) e T_4 (solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibras), que também se desmanchavam devido à sua instabilidade estrutural.

Quadro 43. Resistência à compressão simples (MPa) aos 7, 28 e 60 dias, dos tijolos confeccionados conforme os tratamentos.

Parâmetros		**Tratamentos**									
		Solo argiloso					Solo arenoso				
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}
Resistência à compressão simples aos 7 dias	A	-	0,19	-	-	0,20	-	0,34	0,78	1,10	0,36.
	B	-	0,22	-	-	0,23	-	0,39	0,79	1,06	0,32
	C	-	0,28		-	0,26	-	0,34	0,84	0,98	0,34
	D	-	0,24	-	-	0,20	-	0,34	0,77	0,97	0,36
	Média	-	**0,23**	**-**	**-**	**0,22**	**-**	**0,35**	**0,80**	**1,30**	**0,35**
	Desvio Padrão Médio	-	0,04	-	-	0,03	-	0,03	0,03	0,06	0,02
Resistência à compressão simples aos 28 dias	A	-	0,25	-	-	0,24	-	0,49	1,64	2,15	0,42
	B	-	0,26	-	-	0,20	-	0,46	1,71	2,10	0,46
	C	-	0,30	-	-	0,25	-	0,48	1,68	2,24	0,48
	D	-	0,28	-	-	0,23	-	0,42	1,75	2,17	0,40
	Média	-	**0,27**	**-**	**-**	**0,23**	**-**	**0,46**	**1,70**	**2,17**	**0,44**
	Desvio Padrão Médio	-	0,02	-	-	0,02	-	0,03	0,05	0,06	0,04
Resistência à compressão simples aos 60 dias	A	-	0,35	-	-	0,30	-	0,50	1,85	2,84	0,56
	B	-	0,28	-	-	0,29	-	0,48	1,87	2,72	0,52
	C	-	0,32	-	-	0,25	-	0,54	1,90	2,76	0,58
	D	-	0,25	-	-	0,36	-	0,48	1,95	2,88	0,49
	Média	-	**0,30**	**-**	**-**	**0,30**	**-**	**0,50**	**1,89**	**2,80**	**0,54**
	Desvio Padrão Médio	-	0,04	-	-	0,05	-	0,03	0,04	0,07	0,04

Legenda

T_1 - Solo argiloso
T_2 - Solo argiloso + 3% de cimento
T_3 - Solo argiloso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_4 - Solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_5 - Solo argiloso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar)
T_6 - Solo arenoso
T_7 - Solo arenoso + 3% de cimento
T_8 - Solo arenoso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_9 - Solo arenoso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_{10} - Solo arenoso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar

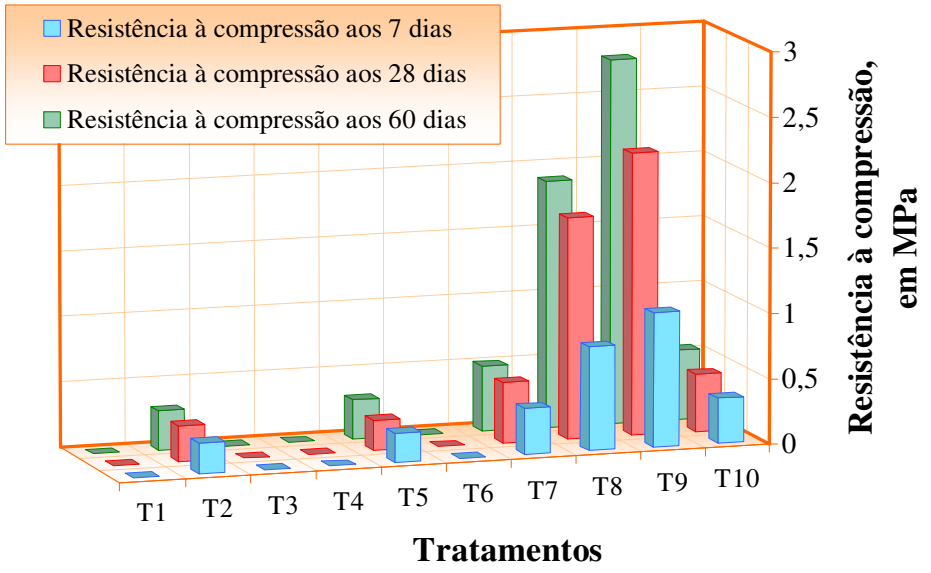

Figura 40. Resistência à compressão aos 7, 28 e 60 dias, dos tijolos feitos conforme os tratamentos

A norma **NBR 08491** (Tijolo maciço de solo-cimento) estabelece que a amostra ensaiada não deve apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor do que 2,0 MPa (20 kgf/cm^2) nem valores individuais inferiores a 1,7 MPa (17 kgf/cm^2) com a idade mínima de sete dias. Pelo exame do Quadro 43, pode-se observar que nenhum dos dez tratamentos estudados satisfez a norma no que se refere à exigência de resistência mínima de 2,0 MPa, ao 7^o dia. Valores superiores a este só foram apresentados pelo tratamento T_9 (solo arenoso + 3% de cimento + 20% de fibras) aos 28 e 60 dias de idade.

O teste de Tukey aplicado às médias de tratamentos mostrou que, independentemente da idade, o tratamento T_9 apresentou o maior valor de resistência à compressão simples (2,0 MPa), seguido do tratamento T_8 (1,46 MPa); os demais tratamentos (T_{10}, T_7, T_2, T_5) foram estatisticamente inferiores e iguais entre si, ao nível de 5% de significância. Para qualquer idade considerada, o tratamento T_9 foi superior aos demais quanto à resistência apresentada; o tratamento T_8 igualou-se ao tratamento T_9 aos 7 e 28 dias, ocupando posição intermediária aos 60 dias. Todos os demais tratamentos foram estatisticamente iguais entre si e inferiores aos tratamentos T_9 e T_8. A resistência à compressão simples foi sempre maior aos 28 e 60 dias do que aos 7 dias, não se constatando diferença alguma entre os 28 e 60 dias de idade. A resistência à compressão

dos tijolos confeccionados conforme os tratamentos T_2, T_5, T_7 e T_{10} não variou em função da idade experimentada; apenas no caso dos tratamentos T_8 e T_9, os valores de resistência foram maiores aos 60 dias e menores aos 7 dias.

Os resultados mostraram que a incorporação de fibras de bagaço de cana-de-açúcar a tijolos de solo arenoso tratado com 3% de cimento Portland, aumentou sua resistência à compressão simples, o mesmo não se podendo afirmar com relação aos tijolos de solo argiloso que nem sequer puderam ser ensaiados. Por outro lado, a substituição parcial do cimento Portland por 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar não apresentou qualquer efeito sobre o valor da resistência à compressão simples dos tijolos confeccionados com solos argiloso e arenoso, em comparação com a resistência dos tijolos confeccionados com solo tratado com 3% de cimento Portland apenas.

Os resultados do ensaio de absorção de água dos tijolos para todos os tratamentos estudados estão mostrados no Quadro 44 e representados na Figura 41.

Quadro 44. Resultados do ensaio de absorção de água dos tijolos referentes aos tratamentos estudados.

Parâmetro		**Tratamentos**									
		Solo argiloso					Solo arenoso				
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}
Absorção de água (em %)	A	-	21,90	32,66	36,42	19,10	-	13,09	22,62	29,57	13,80
	B	-	22,68	31,25	36,25	22,20	-	13,60	23,54	30,15	12,35
	C	-	21,77	31,81	37,50	21,66	-	13,42	22,10	30,45	12,60
	Média	-	**22,61**	**31,90**	**36,72**	**20,98**	**-**	**13,09**	**22,75**	**30,05**	**12,91**
	Desvio Padrão Médio	-	0,49	0,71	0,68	1,66	-	0,26	0,73	0,45	0,78

Legenda

T_1 - Solo argiloso
T_2 - Solo argiloso + 3% de cimento
T_3 - Solo argiloso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_4 - Solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_5 - Solo argiloso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar)
T_6 - Solo arenoso
T_7 - Solo arenoso + 3% de cimento
T_8 - Solo arenoso + 3% de cimento + 10% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_9 - Solo arenoso + 3% de cimento + 20% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar
T_{10} - Solo arenoso + 3% de cimento (80% de cimento Portland + 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar

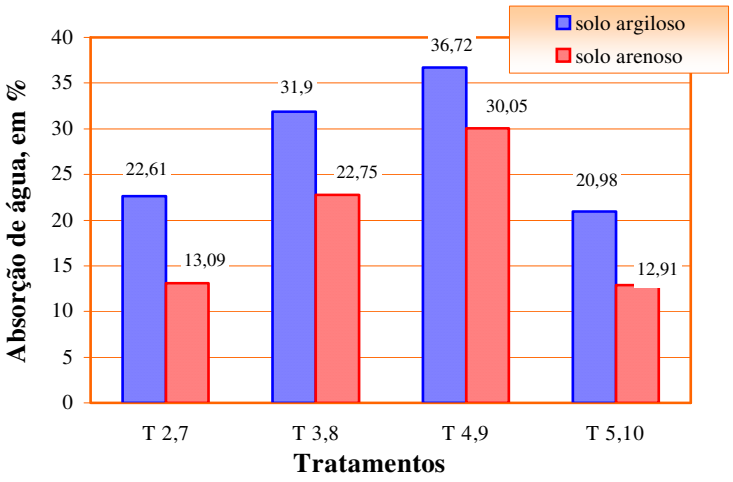

Figura 41. Absorção de água dos tijolos referentes aos tratamentos estudados.

Não foi possível, também, aplicar o ensaio de absorção de água aos tijolos confeccionados apenas com solo em estado natural, pois os mesmos se desmanchavam tão logo eram imersos em água, tal como tinha acontecido com os corpos-de-prova, motivo pelo qual a testemunha passou a ser os solos tratados com 3% de cimento (T_2 e T_7). A norma **NBR 08491** (Tijolo maciço de solo-cimento) estabelece para este ensaio que a amostra ensaiada não deve apresentar a média dos valores de absorção de água maior do que 20%, nem valores individuais superiores a 22%. Pela análise do Quadro 44, pode-se observar que apenas os tijolos dos tratamentos T_7 e T_{10} satisfazem em sua totalidade este requisito.

O teste de Tukey aplicado às medias dos tratamentos mostrou que o maior valor de absorção de água foi alcançado pelo tratamento T_4 (solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibras) e os menores valores, pelos tratamentos T_7 (solo arenoso + 3% de cimento) e T_{10} (solo arenoso + 3% de cimento, com substituição parcial do cimento Portland por 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar). Os tratamentos T_3 e T_9 foram estatisticamente iguais entre si, ao nível de 5% de probabilidade, e apresentaram valores elevados de absorção de água, somente inferiores ao tratamento T_4. Os demais tratamentos (T_8, T_2, T_5) foram estatisticamente iguais entre si, com valores de absorção de água variando entre 20,7 e 22,3%.

Independentemente dos tratamentos, os tijolos confeccionados com solo argiloso apresentaram maior valor médio de absorção de água (28,0%) do que os tijolos com solo arenoso (19,7%). O acréscimo no teor de fibras também resultou em aumento de absorção de água dos tijolos confeccionados com ambos os solos. A substituição parcial do cimento Portland por 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (tratamentos T_5 e T_{10}) não afetou a absorção de água dos tijolos em relação àqueles moldados com 3% de cimento Portland apenas (tratamentos T_2 e T_7).

5. CONCLUSÕES

Dentro das condições do presente trabalho, os dados obtidos, depois de analisados e interpretados estatisticamente, permitiram que se tirassem as seguintes conclusões:

- o tratamento químico das fibras de bagaço de cana-de-açúcar reduziu sua capacidade de absorção de água a níveis proporcionalmente menores em relação ao aumento do tempo decorrido a partir de sua imersão em água;
- a incorporação de fibras "mineralizadas" de bagaço de cana-de-açúcar resultou em diminuição da massa específica aparente seca máxima de ambos os solos pesquisados, quer fossam eles tratados ou não com 3% de cimento;
- a umidade ótima de compactação de ambos os solos decresceu com a redução do teor de fibras incorporado à mistura de solo-cimento-fibra;
- enquanto a adição de 3% de cimento a ambos os solos aumentou significativamente sua resistência à compressão simples, a incorporação de fibras às mesmas misturas de solo e cimento afetou negativamente essa propriedade;
- os valores de resistência à compressão simples das misturas de solo e cimento foram sempre maiores aos 60 dias do que aos 28 dias, exceto quando a elas se acrescentavam fibras de bagaço de cana-de-açúcar;
- o aumento do teor de fibras na mistura de solo-cimento-fibra levou sempre a aumentos de absorção de água, tanto maiores quanto maiores foram as quantidades de fibras incorporadas;
- a incorporação de 30% ou mais de cinza de bagaço de cana-de-açúcar em misturas de cimento-cinza resultou em decréscimo da resistência à compressão simples de corpos-de-prova confeccionados com aqueles materiais;

- a substituição parcial do cimento Portland por 20% de cinzas na mistura de solo-cimento-cinza não afetou significativamente a massa específica aparente seca máxima de ambos os solos estudados, tratados ou não com cimento;
- a incorporação de 3% de cimento ou sua substituição parcial por 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar em misturas de solo-cimento-cinza aumentou a resistência à compressão simples, de ambos os solos, referida aos 60 dias de idade;
- tijolos moldados com solo arenoso tratado com 3% de cimento apresentaram valores satisfatórios de resistência à compressão simples, o maior valor (2,8 MPa) sendo alcançado pela adição de 20% de fibras de cana-de-açúcar à mistura de solo-cimento-fibra, para corpos-de-prova rompidos aos 60 dias de idade;
- o aumento do teor de fibras de bagaço de cana-de-açúcar nas misturas de solo-cimento-fibra provocou acréscimos proporcionais na absorção de água dos tijolos confeccionados com esses materiais, para ambos os solos estudados;
- independentemente do tipo de solo, o maior valor de absorção de água (36,7%) foi apresentado pela mistura de solo argiloso + 3% de cimento + 20% de fibras; o menor valor (13,1%), pela mistura de solo arenoso + 3% de cimento;
- tijolos moldados com diferentes misturas de solo-cimento-cinza apresentaram valores muito baixos de resistência à compressão simples para quaisquer combinações daqueles componentes da mistura;
- tijolos moldados com solo arenoso mais 3% de cimento apresentaram baixos valores médios porcentuais de absorção de água (13,09%), mesmo que o cimento fosse substituído parcialmente por 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (12,91%); no caso do solo argiloso, esses valores médios foram iguais a 22,61% (solo argiloso mais 3% de cimento) e 20,98% (solo argiloso mais 3% de cimento parcialmente substituído por 20% de cinzas);
- de um modo geral, pode-se afirmar que os resultados obtidos com misturas de solo-cimento-fibra foram melhores, em termos de massa específica aparente seca máxima e umidade ótima de compactação, para o solo arenoso do que para o solo argiloso; no que se refere à resistência à compressão simples, mais do que o tipo de solo, a adição de cimento e fibra às misturas afetou, positivamente (cimento) ou negativamente (fibra), a resistência dos corpos-de-prova moldados com aqueles materiais;

- no caso de misturas de solo-cimento-cinza, pode-se afirmar, de um modo geral, que os resultados obtidos com solo arenoso foram melhores do que aqueles com solo argiloso para a massa específica aparente seca máxima, umidade ótima de compactação e absorção de água; em se tratando da resistência à compressão simples, ambos os solos produziram resultados estatisticamente iguais entre si;
- tijolos moldados com misturas de solo-cimento-fibra apresentaram, de um modo geral, baixos valores de resistência e altos valores de absorção de água, se comparados com tijolos cerâmicos ou mesmo tijolos de solo-cimento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, Boletim Técnico 111, 1985. 4 p.

ABNT-NBR 05734: Peneiras para ensaio. Fixa condições exigíveis para peneiras que são utilizadas nos ensaios de separação de materiais suscetíveis de serem classificados segundo o tamanho de seus grãos.

____NBR 06459: Solo: Determinação do Limite de Liquidez. Fixa o modo pelo qual se procede a determinação do limite de liquidez de solos.

____NBR 06461: Bloco de Cerâmico para Alvenaria-Verificação da Resistência à Compressão. Fixa o modo pelo qual deve ser feita a determinação da resistência à compressão de tijolos de barro cozido para alvenaria.

____NBR 07170: Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria. Fixa condições exigíveis no recebimento de tijolos maciços de barro cozido destinados a obras de alvenaria, com ou sem revestimento.

____NBR 07180: Solo: Determinação do Limite de Plasticidade. Fixa o modo pelo qual se procede a determinação do limite de plasticidade de solos.

____NBR 07181: Solo: Análise Granulométrica. Fixa o modo pelo qual se procede a análise granulométrica de solos.

____NBR 07182: Solo Ensaio de Compactação. Fixa o modo pelo qual se determina a correlação entre o teor de umidade de solo e sua massa específica aparente, quando a fração de solo que passa na peneira de 4,78 mm é compactada conforme o processo especificado.

____NBR 07215: Cimento Portland. Determinação da Resistência à Compressão. Prescreve o método de ensaio para determinação da resistência à compressão do cimento Portland.

____**NBR 07251**: Agregado em Estado Solto. Determinação da Massa Específica Unitária. Prescreve o método para a determinação da massa unitária do agregado em estado solto.

____**NBR 08491**: Tijolo Maciço de solo-cimento. Fixa características exigíveis no recebimento de tijolos maciços de solo-cimento. (COMPLETAR).

____**NBR 08492**: Tijolo Maciço de solo-cimento. Determinação da Resistência à Compressão. Fixa o método para determinação da resistência à compressão e da absorção de água de tijolos maciços de solo-cimento para alvenaria.(COMPLETAR)

____**NBR 08947**: Telha Cerâmica- Verificação da Massa e da Absorção de Água. Prescreve o método para a determinação da massa e da absorção d'água em telhas cerâmicas.

____**NBR 10832**: Fabricação de Tijolo Maciço de Solo-Cimento com a Utilização de Prensa Manual. Fixa condições exigíveis para a produção de tijolos maciços de solo-cimento em prensas manuais.

____**NBR 10836**: Bloco Vazado de Solo-Cimento. Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água. Prescreve os métodos para determinação da resistência à compressão e da absorção de água em blocos vazados de solo-cimento comuns e especiais, utilizados em alvenaria sem função estrutural.

____**NBR 11578**: Cimento Portland Composto. Fixa condições exigíveis no recebimento dos cimentos portland composto (CP II-E, CP II-Z e CP II-F), de clases 25, 32 e 40.

____**NBR 11580**: Cimento Portland. Determinação da Água da Pasta de Consistência Normal. Prescreve o método de ensaio para a determinação da água que confere consistência normal à pasta de cimento Portland.

____**NBR 12023**: Solo-Cimento: Ensaio de Compactação. Prescreve os métodos para determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de misturas de solo e cimento, quando compactados na energia normal.

____**NBR 12024**: Solo-cimento. Moldagem e Cura de Corpos-de-Prova Cilíndricos. Prescreve os métodos de moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos.

____**NBR 12025**: Solo-cimento. Ensaio de Compressão Simples de Corpos-de-Prova Cilíndricos. Prescreve os métodos pelo qual devem ser ensaiados à compressão simples corpos-de-prova cilíndricos de solo-cimento. Aplica-se tanto à determinação em laboratório de teor de cimento para a estabilização solo, quanto ao controle da qualidade de solo-cimento na obra.

ABIKO, A.K. - Solo-Cimento: tijolos, blocos e paredes monolíticas. IPT/Ded, Tecnologia de Edificações, 13:61-64, 1984.

ALVARENGA, M.A.A. - A arquitetura de terra como instrumento de desenvolvimento social. In: Workshop Arquitetura de Terra, São Paulo, SP, 1995. **Anais**, p. 107-113.

ANDRADE, V.B. Nova tecnologia na construção civil. Engenharia, 492: 16-18. 1992.

ASSIS, J.B.S. - Bloco intertravado de solo-cimento "Tijolito". In: Workshop Arquitetura de Terra, São Paulo, SP, 1995. **Anais**, p. 149-162.

BUYLE-BODIN, F.; CARBILLAC, R.; DUVAL, R. e LUHOWIAK, W. Stabilisation d'un torchis par liant hydraulique. In: Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials (RILEM Proceedings of the Second International Symposium - Salvador, BA, Brazil, September 1990). SOBRAL,H.S. (ed.). London, Chapman and Hall, 1990. p. 182-192.

CINCOTTO, M. A. - Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. Sã Paulo, A Construção. nº 1855, p. 27-30. 1983 (IPT Encarte TE nº 9)

CHIES, F.; MALLMANN, J.E.C. e ZWONOK, O. Características dos tijolos cinza/cal. In: -ENTAC 93- Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, 1993. Anais, vol.1. São Paulo, EPUSP/ANTAC, 1993. p. 161-170.

DA FONSECA, M.G. Tijolos de cinzas. Cinza de carvão mineral e cinza de casca de arroz. Alternativas tecnológicas na fabricação de novos elementos construtivos para alvenarias. In: ENTAC 93- Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, 1993. Anais, Vol.1. São Paulo, EPUSP/ANTAC, 1993. p. 153-160.

FERNANDES, A. Linha alternativa: URB- Cabo desenvolve bloco econômico para moradias populares. Construção, 19 (228): 17.1992.

TOLEDO FILHO, R.D.; BARBOSA, N.P. e GHAVAMI, K. Application of sisal and coconut fibres in adobe blocks. In: Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials (RILEM Proceedings of the Second International Symposium-Salvador, BA, Brazil, September 1990). SOBRAL, H.S.(ed.). London, Chapman and Hall,1990. p.139-149.

FIORAVANTI, C. - Uma casa de terra. Globo Ciência, p. 36-38, dezembro de 1984.

FREITAS, E.D.G.A. - Utilização da cinza do bagaço de cana em tijolos tipo solo-cimento para a construção civil. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XXIV, Viçosa, MG, 1995. Resumos, p. 109 (Índex 95-1-109, 7 p.).

FREITAS, E.D.G.A. - Obtenção de tijolos de solo-cimento com adição de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção civil. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 120 p. 1996.

FREIDIN, K. e ERELL, E. – Bricks made of coal fly-ash and slag, cured in open air. Cement & Concrete Composites, 17: 289-300. 1995.

FURUNO T.,VEHARA T. e JODAIS S.- Combinations of Wood and Silicate I. Impregnation by water glass and aplications of aluminium sulfate and calcium chloride as reactants. 40th Annual Meeting of the Japan Wood Research Society in Tsukuba, p. 462-472, 1991.

GEYER, R.T.; MASUERO, A.B.; VILELA, A.C.F. e DAL MOLIN, D.C.C. - Aproveitamento de escórias siderúrgicas na construção civil. In: Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural, XXVII, Tucumán, Argentina, 1995. Anais, p. 423-434.

GUIMARÃES, J.E.P. Tijolos solo-cal. In: Reunião Aberta da Indústria da Cal, V, São Paulo, 1985. **A**nais, p. 121-130.

ILO - Small-scale Brickmaking. Genebra, Suíça, International Labour Office. Technology Series, Technical Memorandum n^{o} 6, 1990. 210 p.

LAVINSKY, E.C.A.; SERÔDIO, R.S.; FERREIRA FILHO, E.M. e CUNHA, J. Fabrico manual de adobes no sul da Bahia. 1. Definição técnica, forma e solo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XX, Londrina, PR, 1991. Anais, Vol.1, p. 165-179.

MITIDIERI FILHO, C.V. e CAVALHEIRO, W. Desenvolvimento de Sistema Construtivo em "Painéis Cerâmicos". IPT/DEd, Tecnologia de Edificações, 3: 101-194. 1986.

NEVES, C.M.M. - Inovações tecnológicas em construção com terra na Ibero-América. In: Workshop Arquitetura de Terra, São Paulo, SP, 1995. Anais, p. 49-60.

PICCHI, F.A; CINCOTO, M.A. e BARROS, J.M.C. - Tijolos de solo-cal. IPT/DEd, Tecnologia de Edificações, 90: 93-98. 1987.

RENAS-BMTCS: Building Materials from Agro-Residues, Low-Cost Building Materials Technologies and Construction Systems, Monograph Series No. 1/1984, UNDP/UNIDO, Manila, 1984.

ROLIM, M. M. Avaliação físico-mecânica do material solo-vinhaça concentrada e sua utilização para fins de fabricação de tijolos. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 90 p.,1996.

SABBATINI, F.H. - Os Blocos Sílico-Calcários. In: Reunião Aberta de Indústria de Cal, V. São Paulo, 1985. Anais. p. 131-150.

SANTOS, I.S.S. e SILVA, N.W. Tijolos e Blocos Cerâmicos. Revista de Tecnologia da Construção, Téchne, 15: 22-23,. 1995.

SARMIENTO, C. R. -Argamassa de cimento reforçada com fibras de bagaço de cana-de-açúcar e sua utilização como material de construção. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 110 p.,1996.

SILVEIRA, W.J.C. - Habitações de interesse social em Santa Catarina. In: Workshop Arquitetura de Terra , São Paulo, SP, 1995. Anais, p. 73-80.

U.S.D.A. - Building with adobe and stabilized-earth blocks. Washington, United Stated Departament of Agriculture, Leaflet n^{o}. 535, 1965. 8 p.