Campus de São Carlos

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO
RESÍDUO DE CELULOSE E PAPEL EM
TIJOLOS DE ADOBE**

Rosane Aparecida Gomes Battistelle

Orientadora: Profa. Dra. Akemi Ino

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA
ENGENHARIA AMBIENTAL

**“Análise da viabilidade técnica do resíduo de celulose e papel
em tijolos de adobe”**

Rosane Aparecida Gomes Battistelle

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 21.04.103

Ass.:

DEDALUS - Acervo - EESC

31100037162

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profª Drª Akemi Ino

São Carlos
2002

Class. TESE
Cott. 1298
Tombo T041103
Sysno 1297317

B333a Battistelle, Rosane Aparecida Gomes
Análise da viabilidade técnica do resíduo de
celulose e papel em tijolos de adobe / Rosane
Aparecida Gomes Battistelle. -- São Carlos, 2002.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2002.
Área: Ciências da Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof^a. Dr^a. Akemi Ino.

1. Tijolos de adobe. 2. Construções em terra.
3. Lodo residual de celulose e papel.
4. Encapsulamento de resíduo. 5. Construção civil.
- I. Título.

EXEMPLAR ALTERNATIVO
25/10/2003 14:00:00
25/10/2003 14:00:00

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **ROSANE APARECIDA GOMES BATTISTELLE**

Tese defendida e julgada em 29-11-2002 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Dra. **AKEMI INO (Orientadora)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADA

Prof. Dra. **ADRIANA MARIA NOLASCO**
(Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

Prof. Dr. **NORIVAL AGNELLI**
(UNESP/Campus de Bauru)

APROVADO

Prof. Dr. **JAIR SALIM PINHEIRO DE LIMA**
(UNESP/Campus de Ilha Solteira)

APROVADO

Prof. Liv. Doc. **RUDNEY DA CONCEIÇÃO QUEIROZ**
(UNESP/Campus de Bauru)

APROVADO

Prof. Doutor **VALDIR SCHALCH**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Ciências da Engenharia Ambiental

Prof. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Fonte: NOLASCO (1998)

Deus , Pai Amado, companheiro de toda a minha caminhada.

Aos meus filhos, Isabela e Lucas, que souberam ceder suas horas de brincar com a mamãe, ao rival computador e, por meio de seus sorrisos sinceros, incentivaram-me a continuar lutando.

À minha Mãe, Leny Gomes Battistelle, modelo de mulher vitoriosa, que soube educar suas filhas na busca constante de conhecimentos e, principalmente, realização profissional.

Ao meu pai, Luiz Primo Battistelle (in memorian) que, há vinte e dois anos, acreditou na minha formação profissional, dando-me o primeiro presente de engenheira, cursando eu ainda o primeiro semestre de faculdade.

À minha irmã, Regina Elaine, pelo apoio, atenção e carinho constantes.

Ao meu doce avô Joaquim Gomes (in memorian), imigrante português, incentivador da descoberta de respostas por meio da leitura.

A Evaldo Luiz Gaeta Espíndola, meu marido, companheiro de vários projetos de vida, inclusive este.

A vocês eu dedico este trabalho e a minha vida...

AGRADECIMENTOS

À Profª Drª Akemi Ino, minha orientadora, pela confiança no desenvolvimento desta pesquisa.

À Profª Drª Adriana Nolasco, do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, pelas valiosas sugestões que direcionaram este projeto.

A Universidade Estadual Paulista, Unesp, campus de Bauru, pelo afastamento parcial que permitiu a realização deste doutorado.

Ao admirado Prof. Dr. Heitor Miranda Bottura, amigo de todas as horas, que mesmo nos tempos de graduação já confiava e acreditava na minha carreira científica.

Ao professor, compadre e amigo Obede Borges Faria, que me levou a percorrer os "Caminhos da Terra".

Aos amigos sinceros do Departamento de Engenharia Civil: Newton Carlos Pereira Ferro, Rita Aparecida David, Manuel Joaquim Duarte da Silva, Adilson Renóbio, Ademar da Silva Lobo, Norival Agnelli, Lauro Henrique Chueiri e a competente secretária Maria de Oliveira. A todos, meus agradecimentos pelas inúmeras vezes em que me ajudaram, em meus 14 anos de UNESP-Bauru. Vocês não são apenas companheiros de trabalho, mas sim, amigos do coração.

À querida amiga Marlene de Souza Almeida Lima, por todos os serviços prestados e, principalmente, pela sua amizade e carinho.

Ao Sr. Felisberto, à Célia Regina, Israel e Figueiredo, técnicos de laboratório, do Departamento de Engenharia Civil da Unesp-Bauru, pela inestimável ajuda na realização dos experimentos laboratoriais.

À Sra Orosina dos Santos Ribeiro, carinhosamente chamada pelos docentes do Departamento de Engenharia Civil de Dona Rosa, que com seus cafezinhos, chás e palavras amigas, estimulou, driblou e almejou esta minha futura titulação.

Ao responsável pelos aparelhos audiovisuais, Rubens Carlos Camargo, que emprestou, inúmeras vezes a máquina fotográfica digital da Faculdade de Engenharia de Bauru. Nestes dois anos de experimentos sempre arrumou uma forma do trabalho não ficar sem o registro fotográfico.

Aos queridos alunos do curso de Engenharia Civil da Unesp-Bauru: Guilherme Rodrigues, Eric Blanco Molfeta, Fábio Balbuena Machado e Pedro Galvão Kominami, que de maneira alegre e descontraída ajudaram no trabalho braçal - amassando barro. Sem o trabalho 'escravo' e responsável desses alunos, esta pesquisa não teria sequer iniciado.

Ao Prof. Dr. Valdir Schalch, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, pela atenção dispensada aos assuntos acadêmicos.

Aos funcionários do CRHEA/EESC/USP/São Carlos pelos diversos auxílios prestados e, em especial à Dr^a Clarice M. R. Botta-Paschoal pelas análises ecotoxicológica das amostras do resíduo, a Luci Aparecida Queiroz, pela análise química do resíduo e à Claudete Ap. Poianas da Silva, secretária da pós-graduação e amiga.

Aos técnicos do Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira (LaMEM-EESC-USP), Arnaldo Floro de Souza, Luiz Eduardo Bragato e à amiga, ex-aluna e pós graduanda, Edna Moura Pinto, pela sua colaboração no desenvolvimento dos ensaios relativos à ação do fogo.

À indústria VCP-Votorantim Celulose e Papel, unidade de Jacaré, pela ajuda financeira e fornecimento do resíduo.

À Zeila Chittolina Piotto, supervisora do Meio Ambiente da indústria Votorantim Celulose e Papel e ao Marcos de Aquino, que acreditaram nesta pesquisa, facilitando e incentivando os contatos entre universidade e indústria.

Ao Prof Dr. Wilson Nunes dos Santos, docente da Universidade Federal de São Carlos, que prontamente cedeu o Laboratório de Condutividade Térmica de Materiais Cerâmicos, ensinando-me a manusear os equipamentos.

Ao desenhista da RiMa Editora, Márcio Villar Martins, que confeccionou os mapas do estado de São Paulo, contidos neste trabalho.

À amigona Adriana Lopes Antunes, companheira de viagens, congressos, pesquisas em bibliotecas e trocas de materiais. Você é especial...

Aos grandes amigos nordestinos, pesquisadores Nájila e Adeildo, pelo carinho, paciência e incentivo para continuar desenvolvendo e publicando trabalhos científicos.

À grande amiga Maria Edna Tenório Nunes, com a qual compartilhei momentos de alegrias e de dificuldades e quem, em todas estas situações, tinha uma palavra incentivadora e de otimismo. A você eu devo minha gratidão, amizade e carinho, sempre!

Aos casais, amigos de São Carlos: Paulo e Dirlene, Edna e Jefferson, Rosana e Christian, Viviane e Guilherme. Agradeço a participação incentivadora neste trabalho, proporcionando horas de descontração e alegria. Afinal de contas, o "Oscar na categoria Atores Coadjuvantes" é, por mérito, de vocês!

Agradeço a todos cujos nomes não constam nesta lista, mas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa. Muito obrigado!

SUMÁRIO

Lista de figuras	I
Lista de tabelas	VI
Lista de gráficos	VI
Resumo	VII
Abstract	VIII
1 - Introdução	1
2 - Revisão da literatura	10
2.1 - A terra como material de construção	10
2.2 - Estudo do solo	17
2.2.1 - Granulometria	18
2.2.2 - Retração	19
2.2.3 - Plasticidade	20
2.2.4 - Compactação	21
2.2.5 - Escolha do tipo de solo	21
2.2.6 - O solo do município de Bauru	22
2.3 - Resíduo sólido	25
2.3.1 - Resíduo industrial proveniente da fabricação de celulose e papel	28
2.3.2 - O uso das fibras na construção civil	32
3 - Justificativas	36
4- Objetivos	39
4.1 - Objetivo geral	39
4.2 - Objetivos específicos	39
5 - Materiais e métodos	40
5.1 - Análise do solo de Bauru	40
5.1.1 - Análise granulométrica do solo	41
5.1.2 - Testes expeditos	43
5.1.2.a - Teste do vidro	43
5.1.2.b - Teste da bola	43
5.1.2.c - Teste de consistência	44
5.2 - Confeção das fôrmas	45
5.3 - Análise do resíduo de celulose e papel	47
5.3.1 - Massa específica do resíduo	48
5.3.2 - Análise química e toxicológica do resíduo	49
5.4 - Produção do barro (solo+resíduo)	50
5.5 - Ensaio e produção dos tijolos	51
5.5.1 - Caracterização física e mecânica dos tijolos	53
5.5.1.a - Umidade de equilíbrio ao ar	53
5.5.1.b - Absorção de água	53
5.5.1.c - Determinação da resistência à compressão	54
5.5.2 - Ensaio de condutividade acústica	55
5.5.3 - Ensaio de condutividade térmica	56
5.6 - Ensaio nas diferentes placas de barro	58

Sumário

5.6.1 - Ensaio de retração	59
5.6.2 - Ensaio de gotejamento	59
5.6.3 - Ensaio de intemperismo	61
5.6.4 - Caracterização da mistura em relação à ação do fogo	62
5.6.4.a - Ensaio de perda de massa devido à ação do fogo	63
5.6.4.b - Ensaio de propagação das chamas	65
5.6.4.c - Ensaio de incombustibilidade para materiais de construção	66
6 - Resultados e discussões	68
6.1 - Composição granulométrica do solo de Bauru	68
6.2 - Determinação da massa específica do resíduo	70
6.3 - Análise química e toxicológica do resíduo de celulose e papel	71
6.4 - Determinação do teor de umidade do barro	75
6.5 - Moldagem e secagem dos tijolos	76
6.5.1 - Perda de água dos tijolos	78
6.5.2 - Absorção de água dos tijolos	79
6.5.3 - Determinação da massa específica do tijolo e resistência à compressão	82
6.5.4 - Ensaio de condutividade acústica	85
6.5.5 - Ensaio de condutividade térmica	87
6.6 - Ensaaios nas placas de barro	90
6.6.1 - Ensaio de retração	90
6.6.2 - Ensaio de gotejamento	90
6.6.3 - Ensaio de intemperismo	93
6.6.4 - Ensaio de perda de massa (Tubo de Fogo)	101
6.6.5 - Ensaio de propagação das chamas (Schlyter Modificado)	104
6.6.6 - Ensaio de incombustibilidade para materiais de construção	110
7 - Considerações finais	112
Anexos	117
Anexo I - Formulários dos ensaios granulométricos com o solo do município de Bauru	118
Anexo II - Caracterização do resíduo de celulose e papel pelo laboratório BIOAGRI	121
Anexo III - Tabelas gerais dos diferentes ensaios	126
Lista de tabelas do Anexo III	127
Anexo IV- Laudos técnicos do ensaio de condutividade térmica para os diversos traços de resíduo e terra	155
Anexo V - Precipitações mensais da cidade de Bauru, coletadas no Instituto de Pesquisas Meteorológicas – IPMet/UNESP/Bauru	159
Anexo VI- Laudo técnico do ensaio de incombustibilidade para materiais de construção – IPT/USP/São Paulo	162
Referências bibliográficas	165
Bibliografia consultada	172

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 01 - Consumo evolutivo de energia nas construções (FERNANDES, 2001)	5
Figura 02 - Energia consumida com utilização de ar-condicionado em construções de adobe e blocos de concreto (PORTA-GÁNDARA et al., 2001)	6
Figura 03 - Fortaleza de Bam, localizada na província de Kerman, construída de barro e palha em 250 a. C. (CRATerre, 2002)	10
Figura 04 - Ruínas das construções em adobe em Chan Chan, no Peru (CRATerre, 2002)	10
Figura 05 - Construções com terra em formato de abóbadas no Egito (FATHY, 1976)	11
Figura 06 - Mais velha casa de apartamentos do mundo, de adobe no Novo México (CRATerre, 2002)	11
Figura 07 - Edifícios residenciais, em Shibam, no Iêmen do Sul (CRATerre, 2002)	11
Figura 08 - Casa construída com blocos de terra comprimida na França (CRATerre, 2002)	12
Figura 09 - Sede do grupo financeiro ING, em Amsterdã, Holanda (Folha de São Paulo-24/agosto/2000)	12
Figura 10 - Casas construídas em meados de 1750, em adobe, restauradas, em Tiradentes-MG	12
Figura 11 - Entrada de uma Pousada em adobe, Tiradentes-MG	12
Figura 12 - Construção recente em adobe na cidade de Botucatu – SP	12
Figura 13 - Construção popular no interior do Ceará	12
Figura 14 - Construção de 1981, do arquiteto Hassan Fathy, no Egito (FATHY, 1976)	13
Figura 15 - Construção residencial na Alemanha (MINKE, 2000)	13
Figura 16 - As doze principais técnicas em terra crua, de acordo com seus estados hídricos (CRATerre, 1994)	14
Figura 17 - Amassamento do barro com os pés	15
Figura 18 - Colocação da fôrma de madeira no solo compactado (MINKE, 1995)	15
Figura 19 - Detalhe de um muro antigo em adobe (com as fibras misturadas ao barro) em Tiradentes – MG	15
Figura 20 - Fabricação dos blocos de adobe com fibras (MINKE, 1995)	15
Figura 21 - Vista geral de fôrmas para compactação da estrutura monolítica (CRATerre, 2002)	16
Figura 22 - Moldagem de painéis de pau-a-pique com terra (MINKE, 1995)	16
Figura 23 - Preenchimentos dos painéis de taipa de mão da unidade 001 na EESC/USP/São Carlos em 04/04/99	16
Figura 24 - Exemplo de curva granulométrica do solo coletado na represa do Broa, São Carlos	19
Figura 25 - Perfil geológico da região de Bauru/SP. Fonte- AGNELLI (1997) apud DAEE (1976)	23
Figura 26 - Mapa geológico do estado de São Paulo. Fonte- AGNELLI (1997)	23

Figura 27 -	Mapa do estado de São Paulo com a distribuição dos solos arenosos finos. Fonte- FERREIRA (1998)	24
Figura 28 -	Fluxograma dos diversos setores geradores de resíduos sólidos, SCHALCH et al. (2001)	25
Figura 29 -	Vista parcial do aterro sanitário controlado, localizado na cidade de São Carlos – SP, em junho/2002	27
Figura 30 -	Margens do rio Tietê no interior do estado de São Paulo. Fonte- Jornal da Cidade de Bauru em 19/09/99	27
Figura 31 -	Distribuição das indústrias de Celulose e Papel no Brasil, com destaque ao elevado número de indústrias nas regiões Sudeste e Sul, (BRACELPA, 1998)	31
Figura 32 -	Saída do resíduo sólido da estação de tratamento da indústria VCP de Jacareí	34
Figura 33 -	Vista geral do resíduo de celulose e papel, no pátio da indústria	34
Figura 34 -	Laudo da indústria de celulose e papel VCP, com a porcentagem de fibras existentes. Fonte- Laboratório Central da VCP em Jacareí	35
Figura 35 -	Destorroamento do solo com soquete para posterior peneiramento	42
Figura 36 -	Amostra de solo colocado de molho no hexametáfosfato de sódio	42
Figura 37 -	Inserção do solo e da água destilada no copo de dispersão	42
Figura 38 -	Movimentos de rotação da proveta	42
Figura 39 -	Leituras da sedimentação, com o densímetro introduzido na amostra	42
Figura 40 -	Exemplo do teste do vidro (MINKE, 2001)	43
Figura 41 -	Teste da bola com as amostras de solo-seco (ao sol)	44
Figura 42 -	Teste da queda da bola, a 1 metro de altura do chão	44
Figura 43 -	Ensaio de Consistência (NOLASCO, 1998)	44
Figura 44 -	Vários tipos de fôrmas de madeira (MINKE, 1995)	46
Figura 45 -	Fôrma de madeira para produção de 8 tijolos	46
Figura 46 -	Vista geral das fôrmas de 3,5 x 8,5 x 60 cm, das placas de 15 x 15 x 2 cm e de 30 x 80 x 2 cm, dos filetes de 2 x 2 x 100 cm e dos cilindros de 4,5 cm de diâmetro e 50 cm de altura	46
Figura 47 -	Coleta do solo seco	51
Figura 48 -	Etapa do peneiramento de solo	51
Figura 49 -	Colocação de água no resíduo	51
Figura 50 -	Amassamento do barro com os pés	51
Figura 51 -	Solo sendo coberto com uma lona para evitar a perda de umidade	51
Figura 52 -	Moldagem e desmoldagem dos tijolos de adobe segundo NOLASCO (1998)	52
Figura 53 -	Tijolos expostos para a secagem no sol	52
Figura 54 -	Armazenamento dos tijolos e placas secas, aguardando os ensaios	52
Figura 55 -	Corpo-de-prova pronto para ser testado no ensaio de compressão simples	54
Figura 56 -	Ensaio de isolamento acústico com detalhes o posicionamento dos tijolos de maneira a formar uma caixa, a campainha localizada no seu interior e também, do decibelímetro	55
Figura 57 -	Tijolos sendo lixados para conseguir uma superfície lisa e a colocação da folha de papel para verificação dessa superfície	56

Figura 58 -	Arranjo do termopar e do fio quente no tijolo base	56
Figura 59 -	Vista lateral do suporte de madeira, com destaque para as presilhas laterais que fixam os fios bem esticados	57
Figura 60 -	Vista superior do corpo-de-prova, com detalhe da colocação do termopar no meio do tijolo e, a 16 mm acima desse, o fio quente e as garras metálicas que mantêm os fios esticados	57
Figura 61 -	Esquema geral dos equipamentos utilizados no experimento de condutividade térmica pelo Método do Fio-Quente (modificado de SANTOS, 2000)	58
Figura 62 -	Vista da fôrma de retração já preenchida e sendo nivelada	59
Figura 63 -	Instalação dos reservatórios a 2 metros da base onde serão colocadas as placas	60
Figura 64 -	Termômetro instalado no centro da bancada	61
Figura 65 -	Esquema geral da bancada de envelhecimento do ensaio de intemperismo	61
Figura 66 -	Exemplos de barras com dimensões de (2 x 2 x 100) cm sendo desformadas para, posterior, introdução no Tubo de Fogo	64
Figura 67 -	Maquinário utilizado para medir a perda de massa e a temperatura (MITCHELL et al., 1996)	64
Figura 68 -	Exemplos de placas de dimensões (30x80x2) cm para serem ensaiadas no Ensaio de Flamabilidade	66
Figura 69 -	Aparelhagem utilizada no Ensaio de Schlyter Modificado	66
Figura 70 -	Corpos-de-prova empregados no ensaio de incombustibilidade	67
Figura 71 -	Forno do modelo EQ-004 utilizado nos testes de incombustibilidade	67
Figura 72 -	Teste do vidro com o solo de Bauru	68
Figura 73 -	Bolas secas dos traços 0%, 10%, 20% e 40%	68
Figura 74 -	Curvas granulométricas das duas amostras do solo do município de Bauru	69
Figura 75 -	Tentativa de pesagem do resíduo	70
Figura 76 -	Frasco de Chapman com resíduo de celulose e papel	70
Figura 77 -	Amostras solubilizadas e lixiviadas do resíduo de celulose e papel	71
Figura 78 -	Amostras da água percolada, no ensaio de gotejamento, aguardando contagem	74
Figura 79 -	Inserção do resíduo no solo	77
Figura 80 -	Colocação do barro nas fôrmas	77
Figura 81 -	Tijolos secando ao sol, sob tábuas de madeira, para evitar o contato a umidade	77
Figura 82 -	Tijolos na estufa, sendo retirados dos recipientes com água e pesados	79
Figura 83 -	Vista geral do ensaio de absorção de água com tijolos fabricados com traços de 0%, 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo	80
Figura 84 -	Traços 0%, 15% e 25% durante ensaio de absorção de umidade	80
Figura 85 -	Tijolos já secos sendo separados para a medição e corte	83
Figura 86 -	Tijolos sendo serrados para a montagem dos corpos-de-prova do ensaio de compressão	83
Figura 87 -	Detalhe de um corpo-de-prova; destacando-se o acabamento da superfície superior com vidro	83
Figura 88 -	Vista geral dos corpos-de-prova já preparados, aguardando a	84

	secagem da pasta de cimento empregada no capeamento e assentamento	
Figura 89 -	Aspecto do corpo-de-prova de compressão, após a ruptura	84
Figura 90 -	Notação utilizada para leitura das medidas nos tijolos de adobe	84
Figura 91 -	Bancada geral, montada com os tijolos de adobe, baianos e tijolo comum para o ensaio acústico.	85
Figura 92 -	Detalhe do aparelho utilizado para medir a intensidade do som (Decibelímetro, SHACK/33-2055)	85
Figura 93 -	Corpo-de-prova pronto para ser ensaiado (Ensaio de Condutividade Térmica)	87
Figura 94 -	Equipamentos utilizados no ensaio de condutividade	87
Figura 95 -	Exemplo da tela do computador que gerencia o ensaio de condutividade térmica dos tijolos de adobe do traço 0%	88
Figura 96 -	Vista geral do ensaio de retração	90
Figura 97 -	Vista geral da colocação das placas do ensaio de gotejamento	91
Figura 98 -	Aparelhagem de simulação do gotejamento	91
Figura 99 -	Aspecto geral da placa do traço 0% após o ensaio de gotejamento	92
Figura 100 -	Aspecto geral da placa ensaiada do traço 25%	92
Figura 101 -	Início do ensaio de intemperismo (set/2001)	94
Figura 102 -	Um mês de exposição das placas	94
Figura 103 -	Dois meses de exposição das placas	94
Figura 104 -	Três meses de exposição das placas	94
Figura 105 -	Quatro meses de exposição das placas.	94
Figura 106 -	Um ano de exposição da bancada de intemperismo (set/2002)	94
Figura 107 -	Detalhe da cor esbranquiçada na placa do traço 40%	95
Figura 108 -	Detalhe das placas de barro, do traço 0%, corroídas com três meses	95
Figura 109 -	Detalhe das placas de barro do traço 20%, no terceiro mês de exposição ao tempo	96
Figura 110 -	Detalhe das placas dos traços 25% e 30% no terceiro mês de exposição ao tempo	96
Figura 111 -	Vista geral da bancada com os tijolos, com um mês de exposição.	99
Figura 112 -	Detalhe dos tijolos de traço 0% desfeitos, parcialmente, após um mês de exposição	99
Figura 113 -	Bancada com dois meses de exposição	99
Figura 114 -	Bancada com 3 meses de exposição	99
Figura 115 -	Bancada com 4 meses de exposição	100
Figura 116 -	Bancada com 5 meses de exposição	100
Figura 117 -	Bancada com 6 meses de exposição.	100
Figura 118 -	Bancada com 10 meses de exposição (set/2002)	100
Figura 119 -	Exemplo de barras prontas com o ferro retorcido no meio	101
Figura 120 -	Equipamento utilizado no ensaio do Tubo de Fogo com detalhe do aparelho HP/3478, usado para medir a temperatura	101
Figura 121 -	Detalhe do ponteiro marcador de perda de massa	102
Figura 122 -	Pesagem inicial das barras, antes de serem ensaiadas	102
Figura 123 -	Barras ensaiadas aguardando a pesagem final	102
Figura 124 -	Confecção das primeiras placas de diferentes traços para o ensaio de Schlyter Modificado	104
Figura 125 -	Detalhe da tela usada nas placas de barro	105
Figura 126 -	Detalhe da ausência de fissuras nas placas de traços 40% e	105

	50% (com e sem a colocação das telas)	
Figura 127 -	Detalhe da placa do traço 40 %, após o ensaio	106
Figura 128 -	Placas do traço 0% antes e depois de ensaiadas	106
Figura 129 -	Placas do traço 10% antes e depois de ensaiadas	106
Figura 130 -	Placas do traço 15% antes e depois de ensaiadas	107
Figura 131 -	Placas do traço 20% antes e depois de ensaiadas	107
Figura 132 -	Placas do traço 25% antes e depois de ensaiadas	107
Figura 133 -	Placas do traço 30% antes e depois de ensaiadas	108
Figura 134 -	Placas do traço 40% antes e depois de ensaiadas	108
Figura 135 -	Detalhe do corpo-de-prova (solo e resíduo) sendo preparado para ser ensaiado	111
Figura 136 -	Corpo-de-prova introduzido no equipamento	111
Figura 137 -	Vista superior do equipamento, com detalhe do fogo no seu interior	111
Figura 138-	Intersecção dos dados obtidos nos diversos ensaios	116

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 01 - Análise comparativa do consumo de energia (kwh/t) para a produção de diferentes materiais	3
Tabela 02 - Consumo de energia para a produção de 1 m ³ de componentes construtivos	7
Tabela 03 - Classificação do solo segundo as dimensões das partículas	18
Tabela 04 - Produção de papel nos estados brasileiros nos anos de 1996 e 1997	29
Tabela 05 - Maiores empresas brasileiras produtoras de celulose em 1998	30
Tabela 06 - Maiores empresas brasileiras produtoras de papel em 1998	30
Tabela 07 - Resumo do ensaio de sedimentação do solo de Bauru	70
Tabela 08 - Análise química das amostras do resíduo de celulose e papel	72
Tabela 09 - Testes preliminares com as amostras de celulose solubilizadas e lixiviadas	73
Tabela 10 - Testes de toxicidade utilizando Daphnia similis (Cladocera), nas amostras provenientes do ensaio de gotejamento, nas placas de solo e resíduos em diferentes traços	74
Tabela 11 - Resumo das médias dos teores de umidade das misturas	75
Tabela 12 - Massas dos tijolos de diferentes traços ao longo de 4 meses	79
Tabela 13 - Teor de umidade e absorção de água dos tijolos	81
Tabela 14 - Isolamento acústico dos tijolos de adobe, em função do traço e espessura	86
Tabela 15 - Resumo dos dados obtidos no Ensaio de Condutividade Térmica	88
Tabela 16 - Exemplos de condutividade térmica de alguns materiais de construção	89
Tabela 17 - Resultados do ensaio de retração	90
Tabela 18 - Resumo dos resultados do ensaio de gotejamento	92
Tabela 19 - Ensaio de intemperismo (comportamento das placas de barro dos traços de 0%, 10%, 15% e 20%)	97
Tabela 20 - Ensaio de intemperismo (comportamento das placas de barro dos traços de 25%, 30%, 40% e 50%).	98
Tabela 21 - Resumo do ensaio do Tubo de Fogo com perdas de massa em porcentagens	103
Tabela 22 - Resumo dos resultados do Ensaio de Schlyter Modificado para os diversos traços	109

LISTA DE GRÁFICOS

	Páginas
Gráfico 01 - Massa específica dos tijolos em função da porcentagem de resíduo	83
Gráfico 02 - Resistência à compressão dos tijolos em função da quantidade de resíduo na mistura	84
Gráfico 03 - Precipitações mensais (mm) da cidade de Bauru, coletadas pelo IPMet – Instituto de Pesquisas Meteorológicas/UNESP/Bauru	93

RESUMO

BATTISTELLE, R. A. G. Análise da viabilidade técnica do resíduo de celulose e papel em tijolos de adobe. São Carlos, 2002. 176p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Atualmente, o reaproveitamento de resíduos resultantes de atividades industriais vem se tornando um dos pontos mais importantes na melhoria dos aspectos produtivos, como também na minimização de problemas ambientais decorrentes da forma de produção e do descarte final do resíduo gerado no decorrer do processo de produção. Desta maneira, as indústrias estão buscando implantar um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), no qual o resíduo, anteriormente descartado, passa a ser considerado matéria prima para a fabricação de novos materiais. Dentro deste enfoque, e considerando os impactos gerados pelas indústrias de papel e celulose, estudos que visam demonstrar o potencial de utilização do lodo residual gerado durante a produção de papel na indústria Votorantim Celulose e Papel (VCP), município de Jacareí, SP-Brasil, têm sido desenvolvidos, por meio de uma parceria de indústria e universidades (UNESP - Bauru e USP - São Carlos). Após análises químicas e toxicológicas do lodo residual, obteve-se uma composição de aproximadamente 58,9% de fibras, sendo classificado como Classe II, segundo a NBR 10.004/87. Para avaliar o seu potencial de utilização em materiais de construção, foram confeccionados tijolos de adobe com o solo arenoso proveniente do município de Bauru, SP, nos traços 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 40% em volume de resíduo. Foram realizados diversos ensaios para caracterização dos tijolos (retração, absorção de água e resistência à compressão simples), bem como ensaios de intemperismo, gotejamento, verificação da ação do fogo (perda de massa, propagação das chamas e ensaio de incombustibilidade dos materiais de construção), como também a obtenção de suas características térmicas e acústicas. Com os resultados dos ensaios, foi realizada uma análise geral, por meio da interação dos melhores valores encontrados e, assim, escolhido o traço numa faixa de 20% a 25% de resíduo. Os resultados demonstraram a viabilidade do uso do resíduo em tijolos de adobe, conferindo aos mesmos bons níveis de resistência, manuseio, leveza e durabilidade.

Palavras-chave: tijolos de adobe, construções em terra, lodo residual de celulose e papel, aproveitamento de resíduos e materiais de construção.

ABSTRACT

BATTISTELLE, R. A. G. Technical viability analysis of cellulose and paper residual mud utilization in adobe bricks. São Carlos, 2002. 176p. PhD Thesis – School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo.

Nowadays, reuse of residues from industrial activities is one of the most important aspects in productivity improvement, as well as, minimization of environmental problems originated from production way and residue disposal during the productive process. Industries are requesting an Environmental Management System (SGA), in which residues, formerly discarded, began to be considered raw materials for production of new materials. In this context and considering impacts generated by paper and cellulose manufacturing, studies have been developed, aiming to demonstrate potential use of residual mud generated during paper production in Votorantim Cellulose and Paper Industry (VCP), located in Jacareí, São Paulo State, Brazil, through a partnership between this industry and universities (UNESP - Bauru and USP - São Carlos). After chemical and toxicological analyses of the residual mud, a composition of approximately 58,9% of fibres was obtained and classified as Class II according to NBR 10.004/87. For evaluating its potential use in buildings, adobe bricks were made with sandy soil from Bauru (São Paulo State), considering 0% (witness), 10%, 15%, 20%, 25%, 30% and 40% of residuary volume. Several rehearsals were carried out for brick characterization (retraction, water absorption and resistance to simple compression), and to verify intemperism, leak and fire action (mass loss, flame propagation and fireproof rehearsals), as well as thermal and acoustic characteristics (qualities). A general analysis interacting all values obtained indicated the percentage of residuary volume, in the range of 20% to 25% as the best condition. The results demonstrated viability of use of paper and cellulose residual mud in adobe bricks manufacturing, since they presented good levels of resistance, handling, lightness and durability.

Key words: adobe bricks; soil in constructions; cellulose and paper mud; encapsulated residue and construction materials.

1- INTRODUÇÃO

Com a evolução da humanidade e conseqüentemente o aparecimento de novas tecnologias, o ambiente natural vem sendo sucessivamente substituído pelos espaços urbanos (industriais e/ou habitacionais), ocasionando perdas irreversíveis dos recursos naturais. Muito se tem discutido a fim de achar soluções para o uso adequado desses recursos, sendo que uma das primeiras reuniões, onde introduziu-se legalmente o pensamento de solidariedade com as gerações futuras, foi a Conferência das Nações Unidas, em 1972, realizada em Estocolmo, na Suécia. Este conceito foi primeiramente definido como ecodesenvolvimento, cujo objetivo era satisfazer as necessidades básicas do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazerem suas próprias necessidades.

Segundo BECKER et al (1999) e SCHWARTZMAN (1999), somente em 1987, por meio do relatório da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecido como Relatório de Brundtland, publicado no Brasil com o título de "Nosso Futuro Comum", a idéia de desenvolvimento sustentável aparece claramente definida como o desenvolvimento capaz de garantir no presente e no futuro a sobrevivência da sociedade e da natureza, colocando limites para a utilização do meio ambiente, o que requer uma responsabilidade coletiva no uso adequado dos seus recursos naturais. Esse documento oficializou o termo "desenvolvimento sustentável" e serviu de texto preparatório para a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente (ECO-92), realizada no Rio de Janeiro em 1992, com a participação de diversos países que mostraram seu interesse pelo futuro do planeta como um todo.

O conceito de desenvolvimento sustentável possui uma ampla abordagem, pois busca incorporar os conhecimentos que vêm se acumulando nos últimos anos sobre os problemas sociais e ambientais trazidos pelo progresso descontrolado, buscando encontrar respostas para as necessidades presentes e futuras por meio da combinação de conhecimentos, uso de tecnologias, intercâmbio de técnicas alternativas e, principalmente, a participação da comunidade.

De acordo com RATTNER (2000) e SACHS (2000), a sociedade deve participar de forma ativa mudando sua maneira de pensar e agir, definindo um estilo de viver, limitando o consumo excessivo, conservando os sistemas de sustentação de vida (ar, água e solo), utilizando adequadamente materiais não renováveis

(petróleo, minérios, carvão) sem esgotar os seus recursos ou, se possível, prolongar sua 'vida', por meio da reciclagem ou substituição por outros recursos renováveis, quando possível.

Uma das grandes metas mundiais deste século é atender aos conceitos de sustentabilidade, os quais incluem a reciclagem e reutilização dos recursos naturais, principalmente os que são considerados não renováveis e, tratando-se também dos renováveis, a adequação de sua utilização visando contribuir com a redução dos resíduos gerados pelas diversas atividades humanas.

A problemática dos resíduos sólidos industriais gerados acentuou-se rapidamente em função do aumento do número e variedade de produtos oferecidos no mercado nacional e internacional, principalmente os que usam embalagens descartáveis, associando, assim, o aumento da quantidade de resíduos gerados para cada novo produto lançado. Esse aumento descontrolado de resíduos causa problemas que se caracterizam pela escassez de área de deposição de resíduos (advindos da ocupação e valorização das áreas urbanas), problemas de saneamento público com a contaminação ambiental e, em relação às indústrias, os altos custos sociais no gerenciamento do seu resíduo.

Uma das maneiras de solucionar a questão dos rejeitos industriais envolve a utilização de resíduos como matérias primas que possam ser comercializadas e, portanto, o aproveitamento de resíduos industriais tem sido apontado como uma alternativa econômica, social e ambiental adequada, por meio da redução dos custos dos materiais, criação de uma nova categoria de sub-produto, geração de novos empregos e, principalmente, minimização dos impactos ambientais e os gastos energéticos.

Quanto ao consumo energético gasto por algumas indústrias, MARIOTONI & SOARES (1998) fizeram um levantamento e compararam a economia de energia no processo de fabricação de vários materiais quando utilizados produtos novos e reciclados, conforme se observa na Tabela 01. As fibras de celulose são exemplos de impactos negativos, pois o grande consumo energético se dá com o seu cozimento, branqueamento e refinamento, além do grande consumo de água utilizado por esse processo de produção. A partir do reaproveitamento do papelão, verifica-se uma redução de 50% da quantidade de energia consumida em relação ao material virgem.

Tabela 01- Análise comparativa do consumo de energia (kwh/t) para a produção de diferentes materiais.

MATERIAL	PONTO DE IMPACTO	MATERIAL VIRGEM	MATERIAL RECICLADO	ECONOMIA (%)
Aço	Aço/ferro fundido	13,680	6,636	52
Alumínio	Alumínio/ferro fundido	65,780	2,400	96
Plástico	Polímero fundido	13,238	0,586	96
Papelão	Fibras de celulose	1,923	0,970	50

Fonte: MARIOTONI & SOARES (1998).

A primeira solução para o resíduo industrial, geralmente, advém da indústria que tenta fechar o seu ciclo produtivo de tal forma a minimizar a saída de rejeitos e a entrada de matéria prima não renovável. No entanto, mesmo em menores porcentagens o resíduo é gerado, o que faz surgir o questionamento: Como utilizar de maneira satisfatória os resíduos gerados pela indústria de papel e celulose?

As soluções atualmente adotadas pelos fabricantes de celulose e papel restringem-se à disposição final em aterros sanitários e, em alguns casos, a sua utilização na agricultura, na forma de adubo ou substrato para cultivo de novas mudas de árvores, o que consome, um volume mínimo de material. Mesmo assim, essas empresas necessitam criar um grande espaço no pátio da fábrica para a ocupação provisória do rejeito industrial até, finalmente, direcioná-lo ao seu descarte final.

Uma das soluções que merece destaque é o emprego do rejeito industrial na construção civil pois, segundo CINCOTTO (1988), o setor da construção consome até 75% dos recursos naturais, sendo necessário reduzir o custo da construção e a quantidade de matéria-prima consumida. Assim, devido a grande diversidade de materiais consumidos em uma edificação, o uso de diferentes resíduos (desde que pesquisados tecnologicamente) pode ser uma alternativa viável dentro de uma mesma obra.

Segundo JOHN (2001), a construção civil deve despertar para o uso racional (em menores quantidades possíveis) de materiais e técnicas de construção convencionalmente impactantes ao ambiente, como o cimento, aço e fibrocimento (telhas de amianto). Esses podem ser considerados poluentes desde o seu processo de produção até a sua utilização nas construções, quando geram um

grande volume de entulho, com valores próximos a 30% do desperdício total de materiais.

De acordo com CAMARGO (1995), o desperdício que ocorre nos canteiros de obras brasileiras é composto de 60% de argamassa, 34% de componentes de vedação (tijolos e blocos) e 6% de resto de materiais diversos como o concreto, pedra, plástico e pedaços metálicos. Além disso, BAUER (1994) menciona que na fabricação dos blocos cerâmicos (tijolinho comum ou tijolo baiano) ocorre um elevado consumo de energia, pois os fornos utilizados para a queima dos tijolos requerem temperaturas superiores a 1000 °C.

SILVA (2001) comenta que os entulhos da construção civil, em âmbito mundial, representam grandes quantidades de materiais descartados, tanto em países desenvolvidos quanto naqueles em desenvolvimento, apresentando índices altíssimos de desperdício, perfazendo quase 13% de todo o lixo sólido depositado em aterros. Segundo a autora são liberados 6 milhões de toneladas de entulho devido a construções de estradas, edificações novas, reformas e demolições. De todo este valor, 43% é reutilizado, 7% é reciclado, 5% é incinerado para a geração de energia e, o restante (que chega próximo a 45%) vai para os aterros sanitários, terrenos baldios e lixões a céu aberto.

Portanto, o desenvolvimento de novos materiais, ecologicamente corretos, faz-se necessário, e, entre as possibilidades de soluções para a questão do resíduo sólido industrial, vinculados à minimização do consumo de energia destacam-se as pesquisas de CINCOTTO (1988), AGOPYAN et al (1990), AGOPYAN (1991) e NOLASCO (1993), os quais buscaram em seus trabalhos a utilização dos rejeitos industriais como matéria prima de novos produtos ou mesmo como fonte de energia usada no processo produtivo de fabricação de uma determinada indústria.

Uma das maiores experiências brasileiras na área de reciclagem de produtos gerados por indústrias, na produção de materiais de construção, é conduzida pela indústria cimenteira, que recicla basicamente escórias de alto forno e cinza volante. Um exemplo deste tipo de reutilização é citado na pesquisa desenvolvida pelo professor SAVASTANO JR (2000), que empregou resíduos fibrosos da agroindústria sisaleira e celulósica como subproduto para reforço em telhas de cobertura à base de escória de alto forno.

Dessa maneira, vinculados às metas de sustentabilidade e à redescoberta da utilização de materiais e técnicas mais naturais, bem como a

busca de materiais alternativos na construção civil, tornou-se uma necessidade eminente a conciliação entre os aspectos ambientais, sociais, econômicos e o desenvolvimento, conforme afirmações de ROMERO (1997) e JOHN (2000). Segundo os referidos autores, as construções devem ser projetadas para atender não só as questões funcionais do usuário mas, principalmente na atualidade, também direcioná-las para o uso de materiais que consumam menos energia, sem comprometer a qualidade da edificação.

Atualmente, a construção civil, com a implantação de projetos arquitetônicos errôneos, tem contribuído significativamente no aumento do consumo de energia, principalmente com o uso de iluminação artificial, ar-condicionado e materiais de construção não próprios para as condições da região (parâmetros climáticos locais). FERNANDES (2001), analisa as construções no âmbito mundial, onde os edifícios atuais vêm sendo condenados pelos seus altos custos operacionais, de manutenção e pela ineficiência do seu desempenho, verificando-se um aumento exponencial no uso da energia elétrica. Como exemplo, a autora cita que nos anos 60 uma pessoa consumia cerca de 70 W/h de energia elétrica, passando a consumir valores próximos a 900 W/h em 2000, o que contribui diretamente para o aumento do consumo de energia ao longo do século XX, conforme ilustra a Figura 01.

Figura 01- Consumo evolutivo de energia nas construções (FERNANDES, 2001).

Em relação ao consumo de energia, SILVA (2001), concorda com Fernandes (2001), sendo comentado no trabalho que a indústria da construção civil representa altos gastos para a fabricação dos seus materiais utilizados no processo de produção e no transporte, além do alto consumo energético absorvido durante a vida útil da edificação, com a constante necessidade de utilização de aparelhos eletrônicos, para minimizar as sensações de calor e frio. De acordo com a autora é urgente a necessidade do desenvolvimento de projetos eficientes, utilizando-se de

fontes geradoras de energia menos agressiva ao meio ambiente, com materiais de propriedades térmicas e acústicas mais apropriadas para as condições climáticas locais.

Como exemplo da necessidade do desenvolvimento e aplicação de projetos específicos para a construção civil, e que utilizem materiais com menor consumo de energia durante sua vida útil, tem-se a pesquisa de PORTA-GÁNDARA et al. (2001). Os autores avaliaram as propriedades térmicas em construções de adobe e blocos de concreto em regiões do México, ambas usando aparelhos de ar-condicionado. Uma comparação entre a energia consumida com os aparelhos ligados para manter as edificações com temperaturas internas em torno de 26° é ilustrada mediante os gráficos da Figura 02. Devido o clima excessivamente quente na região, os dois tipos de habitações utilizam-se de aparelhos de ar condicionado durante todo o ano, inclusive no inverno. Observa-se ao longo do ano que as construções em blocos de concreto demandaram maior consumo de energia e, alcançaram seus picos máximos no verão, com consumo de quase cinco vezes mais energia que as construções em adobe.

Figura 02- Energia consumida com utilização de ar-condicionado em construções de adobe e blocos de concreto. (PORTA-GÁNDARA et al., 2001).

Por similaridade, pode-se citar o trabalho de HOUBEN (1997) que demonstra um panorama geral dos gastos de energia na fabricação de diferentes materiais de construção, com destaque para o material “terra”, por necessitar em sua confecção 100 vezes menos energia que o concreto, utilizado constantemente no Brasil. Como exemplo, são apresentados na Tabela 02 alguns dos materiais citados nesta pesquisa.

Tabela 02- Consumo de energia para a produção de 1 m³ de componentes construtivos.

MATERIAL	Kwh/m ³
Terra Crua	5 - 10
Lã mineral	100
Lã de vidro	150
Tijolo de sílico calcário	350
Concreto	500
Tijolo vazado	590
Concreto pré -fabricado	800
Aço (placas)	6100

Fonte: Houben (1997).

As técnicas de construções em terra-crua têm mostrado sua versatilidade por todo o mundo, onde pesquisadores como FATHY (1976), DI MARCO (1984) e MINKE (2002), destacam a terra, em qualquer de suas modalidades, como material de excelentes qualidades térmicas e acústicas, com um consumo praticamente nulo de energia para sua produção, em contraste com os materiais de construção convencionais. Segundo MINKE (2001), o material terra não produz contaminação ambiental, necessitando para o seu processamento e transporte 1% da energia requerida para a preparação do concreto armado.

A durabilidade deste material é incontestável, sendo que existem citações até na Bíblia, onde os egípcios já utilizavam a terra crua, na forma de lama do rio Nilo, para construir tanto a casa do rico faraó, como também a do servo, ambas com excelente isolamento térmico e acústico, segundo DI MARCO (1984 a).

Este modo de construir abrange várias técnicas que foram difundidas em âmbito mundial, passando por diversas adaptações em função do fator econômico e cultural da população, das condições climáticas da região e das necessidades dos seus usuários. Dentre as doze maneiras em se construir com terra, o adobe (do egípcio "thobe", que significa tijolo de barro seco ao sol) ou simplesmente blocos de terra comprimida é uma das técnicas construtivas mais conhecidas. Os tijolos podem ser fabricados de maneira artesanal ou com o emprego de maquinários mecanizados. Como característica fundamental para a fabricação do adobe, o solo deve ser bem arenoso, no qual BARRIOS et al. (1986), apresenta como formação granulométrica adequada do solo, uma porcentagem de

areia superior a 55%. Segundo BARDOU & ARZOUNA (1979) o solo deve conter valores superiores a 45% de areia e no máximo 20% de argila.

Quanto à durabilidade desse material é indiscutível, verificado pelas obras antigas, presentes até os dias atuais. O “entulho” resultante da produção e utilização dos tijolos de adobe é praticamente incorporado de volta ao ambiente, onde os pedaços de tijolos, podem ser desagregados facilmente, voltando a ser solo.

Apesar das características excelentes do adobe, no início do século XX, houve um declínio acentuado das construções com terra devido ao aparecimento de novos materiais como o cimento, concreto armado, tijolos cozidos e o aço, caracterizando um período em que o mercado da construção civil deixou de lado esse sistema construtivo. Porém, nos meados de 1970, devido aos grandes apelos ambientais pela utilização de materiais com menor consumo de energia na sua fabricação e a implantação dos 3R (reduzir, reutilizar e reciclar) nas metas do desenvolvimento sustentável, a utilização da terra como material de construção, recebeu um novo impulso, visto que o seu uso tem amplos valores, tanto na obtenção, processamento e descarte do material, quanto na durabilidade de suas obras edificadas.

Assim, tendo em vista os conceitos de sustentabilidade e a utilização de materiais alternativos ecologicamente corretos para a construção civil, este trabalho busca uma alternativa para solucionar dois problemas atuais. O primeiro é a produção de materiais de construção com o mínimo consumo de energia para sua fabricação, com isolamento térmico adequado, de baixo custo e, principalmente, acessível à população carente. O segundo é minimizar os impactos ambientais negativos causados pelo descarte, em aterros sanitários, de resíduos sólidos industriais resultante da produção de papel.

Para tanto, foram confeccionados tijolos de adobe constituídos por solo e resíduo industrial de celulose e papel, nos traços 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 40% em volume de resíduo. Em uma primeira etapa foi realizada, separadamente, a análise do solo do município de Bauru, como também o levantamento das características do lodo residual de celulose e papel fornecido pela empresa Votorantim Celulose e Papel – VCP, unidade de Jacaré. Posteriormente, foram fabricados os tijolos e, então, realizados vários ensaios buscando escolher o ‘traço ótimo’, isto é, a mistura com maior quantidade de resíduo, levando em consideração as características físicas, mecânicas, térmicas e

acústicas dos tijolos, como também a influência do fogo e do clima agindo sobre estes.

Deve-se ressaltar que esta pesquisa só pôde ser desenvolvida com a parceria de três universidades e da indústria, uma vez que a análise granulométrica do solo e os ensaios com os tijolos (retração, umidade de equilíbrio ao ar, absorção de água e resistência à compressão) foram realizados nos laboratórios de Engenharia Civil da UNESP, campus de Bauru. A caracterização química e toxicológica do resíduo foi realizada nos laboratórios do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada/CRHEA/USP/São Carlos. Os ensaios sobre a ação do fogo nos compósitos de terra-resíduo, o da propagação das chamas e o ensaio de perda de massa foram realizados no LaMEM - Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras, do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC/USP/São Carlos, e, o ensaio de incombustibilidade do material (realizado no IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). As características térmicas dos tijolos foram obtidas no Laboratório de Propriedades Térmicas do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos/UFSCar.

2- REVISÃO DA LITERATURA

Para apresentar de forma didática a base conceitual dos materiais que são utilizados nesta pesquisa, optou-se pela subdivisão deste capítulo em três itens: as construções em terra crua, algumas características dos solos (enfocando o solo do município de Bauru) e o resíduo de celulose e papel.

2.1- A terra como material de construção

Após 1970, com o impacto que o processo de industrialização causou no ambiente e à saúde das pessoas, fez com que muitos campos da atividade humana buscassem alternativas para minimizar este impacto. A arquitetura não foi uma exceção. Materiais como a terra crua, bambu e fibras vegetais representam uma excelente alternativa aos materiais industrializados por não serem poluentes, não requererem grande consumo de energia em seu processo de fabricação, por serem renováveis e de baixo custo.

Na realidade, pesquisas em habitações construídas em terra sempre existiram, quer seja pela curiosidade histórica, ou pelo custo dos materiais, ou as preocupações ecológicas, sociais ou culturais, sendo muitas vezes desenvolvidas isoladamente e sem o destaque especial da mídia.

Segundo DI MARCO (1984a, 1984b), a terra como material de construção existe, desde os primeiros povoados há 10 mil anos, onde os homens construíam com terra e acessórios (pedras, palha, folhas) cidades inteiras, templos, palácios, igrejas, castelos e enormes monumentos conhecidos mundialmente até hoje, como por exemplo o castelo de Bam, no Irã, em 250 a. C. (Figura 03) e as ruínas de Chan-Chan, no Peru (850-900), como apresentado na Figura 04.

Figura 03- Fortaleza de Bam, localizada na província de Kerman, construída de barro e palha em 250 a. C.(CRATerre, 2002).

Figura 04- Ruínas das construções em adobe em Chan Chan, no Peru. (CRATerre, 2002).

Apesar dessas obras criadas pelos antigos povos terem desafiado as intempéries de séculos e estarem presentes até os dias de hoje, elas sofrem, constantemente, o preconceito de aceitação por parte das pessoas, as quais enxergam os materiais como sinônimo de pobreza e de baixa durabilidade, o que na realidade é contraditório. Como exemplo de edificações que atravessaram os tempos, as Figuras 05, 06 e 07 mostram as construções do Egito, os edifícios residenciais no Iêmem do Sul e os apartamentos no novo México (até hoje habitados).

Figura 05- Construções com terra em formato de abóbodas no Egito. (FATHY, 1976).

Figura 06- Mais velha casa de apartamentos do mundo, de adobe no Novo México. (CRATerre, 2002).

Figura 07- Edifícios residenciais, em Shibam, no Iêmem do Sul. (CRATerre, 2002).

Segundo DETHIER (1993), a divulgação das pesquisas sobre construções com terra começaram a ocorrer no final do século XVII, durante a Revolução Francesa, com destaque para o pesquisador François Contreaux que propôs a criação de novas técnicas construtivas para satisfazer as necessidades urbanas e rurais da França. Contreaux fundou a famosa escola de arquitetura de Grenoble, que serviu como instrumento para divulgar vários trabalhos, que despertaram o interesse de diversos países pelas obras em terra crua.

Atualmente existem construções de terra espalhadas por todo o mundo, como nos Estados Unidos, África, Índia, Austrália, Holanda, Alemanha, Colômbia,

Brasil etc., como apresentado nas Figuras 08 e 09, do CRATerre (2002) e Jornal Folha de São Paulo de 24 de agosto de 2000.

Figura 08- Casa construída com blocos de terra comprimida na França. (CRATerre, 2002).

Figura 09- Sede do grupo financeiro ING, em Amsterdã, Holanda. (Folha de São Paulo-24/agosto/2000).

Conforme MILANEZ (1958), no Brasil as construções indígenas existentes no período do descobrimento eram confeccionadas de madeira e cobertas com palhas ou folhas, e portanto, o uso da terra foi introduzido pelos africanos e portugueses colonizadores, fixando-se inicialmente no Nordeste, no planalto paulista e Minas Gerais, proliferando posteriormente por todo o País. Dessa maneira, a arquitetura colonial brasileira é basicamente constituída de obras de terra, como pode ser visualizado nas Figuras de 10 a 12, as quais ilustram obras brasileiras coloniais e atuais.

Figura 10- Casas construídas em meados de 1750, em adobe, restauradas, em Tiradentes-MG.

Figura 11- Entrada de uma pousada em Tiradentes-MG, construída em adobe

Figura 12- Construção recente em adobe na cidade de Botucatu – SP.

Figura 13- Construção popular no interior do Ceará.

No Brasil, ainda hoje encontra-se um grande preconceito em relação a essa forma de construir, verificando-se que as obras em terra ficam restritas apenas as zonas rurais, em locais provisórios, com aspectos de barracos de favelas, associadas, assim, à pobreza, conforme mostra a Figura 13.

São inúmeros os exemplos de aplicação da terra, entre os quais destacam-se as obras do arquiteto egípcio Hassan Fathy que, em 1946, começou sua intensa luta contra os preconceitos que associam a arquitetura de terra à miséria, criando o 'Centro de Pesquisas sobre Tecnologias Adequadas', Figura 14. Também merece destacar o professor alemão Gernot Minke, que estuda há mais de 20 anos as aplicações da terra em diversas áreas, conforme relatam os trabalhos de MINKE (1995, 2001), cujo exemplo pode ser visto na Figura 15.

Merecem atenção também os programas internacionais que visam estudar, cuidar e manter as obras em terra crua da antiguidade e aplicar estes conceitos nas construções atuais, como por exemplo, o HABITAT em Nairobi, Kenya, ICCROM em Roma, na Itália e, o mais conhecido, CRATerre (Centro de Pesquisa e Aplicação da Terra) em Grenoble na França, que atua em diferentes linhas de pesquisa. Segundo SILVA (2001), o CRATerre atua nas investigações científicas do material terra, na elaboração e divulgação de um amplo material didático com textos, figuras, livros, slides, artigos, entre outros, investindo também, na formação de profissionais com a implementação de um ensino universitário direcionado ao uso da terra crua e, por fim, o desenvolvimento de projetos e execução de construções em terra.

Figura 14- Construção de 1981, do arquiteto Hassan Fathy, no Egito (FATHY, 1976).

Figura 15- Construção residencial na Alemanha. (MINKE, 2000).

DETHIER (2000) cita a participação da UNESCO em diversos continentes, propondo a preservação e valorização do patrimônio histórico, com o

tombamento de cidades onde se encontram exemplos magníficos de construções com terra, como Ouro Preto, no Brasil e Sanaa, na República Árabe do Iêmen.

No Brasil existem grupos trabalhando com materiais de construção naturais na Paraíba, Bahia, São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, evidenciando algumas entidades como: a ABMTENC (Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias não Convencionais), com sede no Rio de Janeiro; a ABCTerra (Associação Brasileira dos Construtores e Pesquisadores da Terra) sediada em São Paulo; o CEPED (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento) na Bahia, além do HABIS (Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade), da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP), em São Carlos.

Segundo o CRATerre (1994), os sistemas construtivos em terra crua podem ser agrupados em 12 técnicas, baseados nos seus estados hídricos, como mostra a Figura 16.

Figura 16- As doze principais técnicas em terra crua, de acordo com seus estados hídricos. (CRATerre, 1994).

No Brasil, as técnicas mais exploradas desde o período colonial são o adobe (tijolo de barro seco ao sol), a taipa (ou taipa-de-pilão) e o pau-a-pique, explicados a seguir:

Adobe→ Utiliza-se preferencialmente o solo arenoso, o qual é misturado com água até a obtenção de um barro. O amassamento é feito em geral com os pés e depois o barro é moldado em fôrmas com as mãos (Figuras 17 e 18). A desforma é feita logo em seguida. Os blocos são depositados à sombra, por uma semana, e depois ao sol, até ocorrer a secagem completa.

Figura 17- Amassamento do barro com os pés.

Figura 18- Colocação da fôrma de madeira (MINKE, 1995).

Tradicionalmente são adicionados ao barro fibras, palhas picadas e até mesmo estrume fresco de animais, de maneira a garantir uma melhor homogeneidade da mistura, melhorando a resistência ao impacto, diminuindo o aparecimento de fissuras e a retração dos blocos durante a secagem, conforme as Figuras 19 e 20. Atualmente, em países como os Estados Unidos, devido a necessidade de uma grande produção de blocos de adobe, já existem fábricas modernas, com equipamentos mecânicos especializados na fabricação do adobe.

Figura 19- Detalhe de um muro antigo em adobe (com as fibras misturadas ao barro) em Tiradentes – MG.

Figura 20- Fabricação dos blocos de adobe com fibras (MINKE, 1995).

Taipa→ Conhecida no Brasil como taipa-de-pilão, onde se utiliza solos arenosos. A terra é socada em fôrmas de grande largura que vão sendo levantadas

em camadas sucessivas até formarem todo o painel. Esta técnica foi muito utilizada no Brasil colonial, com as construções de igrejas e prédios públicos.

Em geral as paredes possuem uma grande espessura calculada em função de sua altura ($e = 0,10 H$), representando cômodos altos e de grande espessura, gerando ambientes agradáveis com um bom isolamento térmico (Figura 21).

Figura 21- Vista geral de fôrmas para compactação da estrutura monolítica. (CRATerre, 2002).

Pau-a-pique→ Utilizam-se, nessa técnica, solos bem argilosos, onde a terra (lama) é usada apenas como preenchimento dos painéis já montados com madeira ou bambu. Faz-se, inicialmente, o esqueleto da parede e depois enche o entrelaçado com o barro, conforme Figuras 22 e 23.

Figura 22- Moldagem de painéis de pau-a-pique com terra. (MINKE, 1995).

Figura 23- Preenchimentos dos painéis de taipa de mão da unidade 001 na EESC/USP/São Carlos, em 04/04/99.

Segundo DI MARCO (1984 a), o estudo e conseqüente utilização do material terra, oferecem várias vantagens, podendo-se destacar os seguintes aspectos:

Econômico- A matéria-prima para a construção do material é abundante e de custo baixíssimo, além da mão-de-obra também ser primária e de baixo custo.

Energético- Pode ser produzida no próprio local, sem custo de transporte e principalmente sem necessidade de se submeter à transformação industrial, obtendo-se, assim, uma grande economia de energia. Também há uma redução de energia elétrica, quando em uso, dada a inércia térmica das paredes de terra, o que reduz sensivelmente o uso de aparelhos eletrônicos para o aquecimento ou resfriamento do ambiente. Além da simplificação do processo de manufatura, com a retirada da fase de cozimento, que exige altas temperaturas (mais de 1.000 °C), esse material poupa ao ambiente a queima de madeira (para manter os fornos) e também, a poluição da atmosfera (emissão de fumaça).

Sócio-Cultural- As tecnologias de terra crua permitem reduzir os custos da habitação social, onde o usuário sente-se capaz de construir sua própria habitação.

Desempenho do material- as habitações em terra crua possuem um excelente conforto térmico e acústico.

Este item fez um panorama geral das construções com terra crua com um levantamento das pesquisas e experiências já concluídas e, dentre as técnicas apresentadas, a pesquisa a que se refere este trabalho utilizou a técnica de construção em adobe e, para tanto, a escolha e o estudo das características básicas do solo são fundamentais.

2.2 - Estudo do solo

O termo solo, segundo NEVES (2000), significa um produto da decomposição das rochas, constituído de elementos minerais e/ou orgânicos, que reveste toda a crosta terrestre. O material orgânico está constantemente se transformando e é formado pela decomposição das plantas e animais (ação de microorganismos). O material mineral pode ser composto de sílica, silicatos ou calcário, sendo que suas proporções e distribuições determinam a estrutura e textura do solo. Os minerais se dividem em dois grupos: os minerais inertes, como pedra, pedregulho, areia e silte, e os minerais ativos, como algumas argilas.

Os solos apropriados à construção civil estão localizados a uma camada de 30 a 40 cm, abaixo da superfície, com menores quantidades de matéria orgânica que contém os microorganismos nocivos e que podem comprometer a higiene da habitação.

Esta seção não tem o intuito de fazer uma análise aprofundada da mecânica dos solos, mas sim uma abordagem direcionada ao uso dos solos nas construções com terra crua. Com esta finalidade, as características mais importantes dos solos a serem consideradas são:

- na seleção – analisar a granulometria e retração;
- no controle da execução – verificar a plasticidade, a umidade e o grau de compactação.

2.2.1.- Granulometria

O estudo granulométrico estabelece um parâmetro de medição das dimensões dos grãos que compõem o solo. Basicamente, o solo é constituído por pedregulhos e três fases granulométricas, classificadas de acordo com as dimensões dos grãos, que são: areia, silte e argila.

A argila é composta por partículas mais finas e tem a propriedade de expandir ou retraindo quando a ela se adiciona água. A areia é o componente inerte do solo, sendo constituído de 'grãos' maiores; enquanto o silte é a partícula intermediária entre a argila e a areia, com características mais próximas de uma ou de outra, dependendo das dimensões predominantes dos grãos. Com pequenas variações, o sistema básico de classificação do solo está agrupado na Tabela 03, fornecida por NEVES (2000).

Tabela 03- Classificação do solo segundo as dimensões das partículas.

DIÂMETRO DOS GRÃOS (mm)	ELEMENTO DO SOLO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS
20 a 2	Pedregulhos (gravas)	Elemento inerte e resistente
2 a 0,05	Areias	Elemento inerte, sem coesão
0,05 a 0,005	Silte (limos)	Sem coesão, diminui a resistência da areia
Inferiores a 0,005	Argilas	Possui forte coesão, sem estabilidade volumétrica, expande na presença da água; apresenta propriedades físicas e químicas bastante variadas segundo sua origem

Fonte: NEVES (2000).

O procedimento tradicional para medir a composição física do solo envolve dois ensaios de laboratório: o peneiramento, para medir as partículas maiores (pedregulhos e areia) e a sedimentação, para medir as partículas mais finas (argila e silte). Com os valores obtidos destas etapas é gerada uma curva

granulométrica que estabelece em porcentagem a característica do solo. A Figura 24 ilustra um modelo desta curva.

Figura 24- Exemplo de curva granulométrica do solo coletado na represa do Broa, São Carlos.

MAINE (1997) apresenta uma classificação simplificada para o emprego correto do solo em edificações com terra crua. A classificação se restringe em 4 componentes presentes nos solos (pedregulho, areia, silte e argila) e, que conforme a variação em porcentagem destes componentes, o solo será chamado de:

PEDREGOSO	ARENOSO	SILTOSO	ARGILOSO
se o pedregulho é >15%	se a areia é >50%	se o silte é >15%	se a argila é >20%

Esta classificação é prática e almeja, segundo o autor, fornecer os comportamentos principais do solo. Uma classificação exata, advinda do ensaio de granulometria, resulta em nomenclaturas mais precisas, como por exemplo:

- Solo areno siltoso - corresponde ao solo principalmente arenoso, com pouco mais de silte que argila ou;
- Solo silto arenoso - corresponde ao solo principalmente siltoso, com um pouco mais de areia que argila.

2.2.2- Retração

Outro fator que deve ser analisado é a propensão do solo à retração, sendo que o teor de argila presente no solo é o maior responsável pelos movimentos de retração e expansão, que se observam quando existe variação da umidade na mistura. Nas construções com terra, a retração da argila provoca fissuras que permitem a penetração de água e conseqüentemente a perda de resistência do material.

Nas construções em terra-crua é conveniente determinar a retração linear do solo, que é fixada a um valor máximo de 20 mm, recomendado pela norma brasileira de solo-cimento, ABCP (1996), descrito posteriormente no item materiais e métodos.

2.2.3- Plasticidade

A plasticidade de um material é definida de maneira simplificada, como a facilidade do solo de ser moldado ou não, ou seja, refere-se à habilidade do solo de submeter-se a uma deformação sem apresentar fissuras, o que depende da relação entre os grãos (maiores quantidades de argila ou areia) e, também, da porcentagem de água inserida na mistura. Segundo o teor de água, o solo pode ser líquido, plástico ou sólido, sendo definidos por limites obtidos nos ensaios laboratoriais, que são:

Segundo NEVES (2000), os indicadores que limitam a passagem de um estado para outro são: LL - Limite de Liquidez definido como sendo o teor de umidade na transição entre o estado líquido e plástico; LP - Limite de Plasticidade, que é convencionado como o teor de umidade na transição entre o estado plástico e o sólido, sendo que ambos dependem, geralmente, da quantidade e do tipo de argila presente no solo. Define-se como LR o Limite de Retração, e IP é o Índice de Plasticidade, definido como a diferença de LL e LP.

A plasticidade do material é determinada por dois ensaios laboratoriais: o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP), sendo os ensaios de plasticidade, realizados com a parte fina do solo (solo que passa pela peneira de malha 0,42 mm). O limite de liquidez é determinado no aparelho denominado de Casagrande, constituído por uma manivela que movimenta um recipiente no formato de uma concha. O limite de plasticidade é determinado rolando uma

pequena 'bola' de solo umedecida sobre uma placa de vidro até formar um cordão de aproximadamente 3 mm de diâmetro e de 12 a 15 cm de comprimento.

2.2.4- Compactação

A resistência do solo está diretamente relacionada ao seu grau de compacidade quando comprimido por um determinado esforço. Quando um solo é comprimido a porcentagem de vazios e porosidades na mistura diminuem, ao contrário da densidade que aumenta. Para cada tipo de solo existe uma determinada umidade, denominada de umidade ótima, na qual ocorrem as condições em que se pode obter a melhor compactação. Esta umidade é determinada em laboratório, por meio de um ensaio específico, mas também pode ser obtida com os testes sensoriais ou testes expeditos que são apresentados no item "materiais e métodos".

No caso dos tijolos de adobe, inicialmente faz-se a homogeneização e compactação com os pés ou com maromba. Com o solo peneirado (para retirada dos torrões) acrescenta-se gradativamente água, em quantidade suficiente para se obter plasticidade ótima, levando em consideração que o solo vai ser moldado, comprimido e desformado em seguida e, portanto, o excesso ou falta de água podem comprometer os tijolos. Segundo FARIA et al. (1998), após o amassamento, o barro deve ser coberto e deixado em repouso por 24 horas, para que não perca muita umidade e para que ocorra a tixotropia da argila. Esse fenômeno é caracterizado pela capacidade que o solo argiloso possui em expandir-se, isto é, as partículas de argila sofrem um distanciamento entre si na presença de água.

2.2.5- Escolha do tipo de solo

Como anteriormente comentado, o grau de sensibilidade do solo à água, varia de acordo com a proporção de argila, comparada com a proporção dos outros constituintes inertes dos solos (areia e silte) e, também, com a natureza dessas argilas. Assim, a escolha do tipo de solo para ser aplicado a uma determinada técnica (dentre as doze ilustradas na Figura 16) é fundamental.

Porém, quando é necessário usar um tipo específico de solo ou melhorar suas características mecânicas e de permeabilidade, utiliza-se a adição de produtos conhecidos como estabilizadores. Estes produtos, quando adicionados

ao barro, enrijecem o material de diferentes maneiras (dependendo do tipo de estabilizante), promovendo a redução acentuada do efeito de retração e assegurando sua maior durabilidade. Sem os conhecimentos tecnológicos da atualidade, mas sim o intuitivo, o Homem primitivo já se utilizava de argamassas com a inserção de outros materiais da natureza, como a pedra, palhas, gramas secas, excrementos e pêlos de animais como estabilizadores.

FERRAZ JUNIOR (1996) divide o modo de estabilizar uma argamassa em três processos, que são:

- processo mecânico - inclui a compactação da terra, aumentando a sua densidade seca sem o uso de estabilizantes;
- processo físico - na fase de compactação pode-se aplicar:
 - a correção granulométrica ou a mistura de dois solos
 - reforço das misturas com a introdução de estabilizantes naturais, que se opõem aos movimentos de expansão e retração;
- processo físico-químico – consiste na adição de produtos químicos nas misturas que garantem as ligações estáveis entre os grãos argilo-minerais e, se necessário, o emprego posterior de produtos impermeabilizantes.

Existem vários materiais estabilizadores no mercado, sendo os mais empregados o cimento e a cal. Já as fibras vegetais conhecidas como estabilizantes naturais, pode ser originado do sisal, coco, bagaço da cana de açúcar, entre outros e, quando introduzidas nas misturas, funcionam como um esqueleto interno, uma malha que reforça o material.

2.2.6- O solo do município de Bauru-SP

Segundo AGNELLI (1997), a área ocupada pela cidade de Bauru pertence à Bacia sedimentar do Paraná e está inserida no Planalto Arenítico – basalto do Estado de São Paulo (Planalto Ocidental). O quadro geológico regional é dominado por rochas do Grupo Bauru, recobrindo as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral que afloram em direção ao vale do Rio Tietê (Figura 25).

O Grupo Bauru se divide nas Formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília (Figura 26), sendo dominante a **Formação Adamantina**, que é constituída por arenitos, siltitos arenosos micáceos, arenitos micáceos, entre outros; e a **Formação Marília**, a qual é constituída por arenitos, conglomerados e lamitos intercalados entre si. De forma geral, pode-se citar que as duas formações

possuem como característica fundamental a grande quantidade de material arenoso em sua composição.

Figura 25- Perfil geológico da região de Bauru/SP. Fonte: AGNELLI (1997) modificado.

Figura 26- Mapa geológico do estado de São Paulo. Fonte: AGNELLI (1997) modificado.

O solo da região de Bauru é conhecido cientificamente como “solo colapsível”, que é uma característica do solo que sofre uma súbita redução de volume quando aumenta o seu teor de umidade. Esta redução é associada a uma perda rápida de resistência e a possíveis desmoronamentos estruturais internos. Este fato causa preocupação nos pesquisadores da área geotécnica, principalmente quando utilizados como camada de suporte das fundações em edificações. Como exemplo, é comum obras sobre este solo com problemas de fissuras, podendo-se citar construções com o aparecimento de trincas logo após uma infiltração de água (quer pela água da chuva ou por rompimento de canos de

água ou esgoto). Essas fissuras aparecem devido ao desequilíbrio do solo causado pela água que infiltrou, reduzindo os mecanismos de suporte e fazendo com que os grãos deslizem uns em relação aos outros, em direção aos espaços vazios.

AGNELLI (1997) comenta que é comum, pesquisadores associarem a ocorrência dos solos colapsíveis, com os solos presentes nos climas áridos e semi-áridos, em função do baixo teor de umidade resultante das altas taxas de evaporação, sempre superiores aos índices pluviométricos.

Figura 27- Mapa do estado de São Paulo com a distribuição dos solos arenosos finos. FERREIRA, 1998.

O solo utilizado para a confecção dos tijolos de adobe foi coletado na cidade de Bauru, sendo a escolha desse baseada na predominância dos solos arenosos no estado de São Paulo (Figura 27), devido ao grande número de pesquisas realizadas com solos colapsíveis e, conseqüentemente, facilidade na aquisição de dados. Esse solo tem como característica predominante uma grande proporção de areia, com aproximadamente 70% de areia e 30 % de argila (incluindo-se neste, uma pequena porção de silte).

Nesta pesquisa, a estabilização física do solo arenoso foi obtida com a adição de fibras de celulose e papel presentes no lodo residual da indústria VCP (58,9 % de fibras), de maneira a diminuir a permeabilidade do solo e reduzir sua retração. Este tipo de estabilização com fibras, para os solos arenosos, foi apresentado de maneira satisfatória nos trabalhos de MINKE (1995, 2001).

Entretanto, deve-se ressaltar que nem sempre a escolha de um determinado solo (arenoso ou argiloso) pode ser feita com o apoio de laboratório,

por mais simples que seja o ensaio. Assim, a seleção do solo pode ser realizada com o auxílio dos ensaios expeditos ou testes sensoriais que fornecem uma idéia sobre o comportamento do solo.

2.3- Resíduo Sólido

A palavra resíduo deriva-se do latim *residuu*, que significa aquilo que sobra de qualquer substância. Ao longo do tempo foi incorporado a esta palavra o termo sólido para diferenciar estes resíduos dos restos líquidos lançados nos esgotos domésticos e das emissões gasosas das chaminés de indústrias à atmosfera.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1987 (NBR 10.004), define os resíduos sólidos como: "Os resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades da comunidade, de origem industrial, doméstica, de serviço, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Considera-se também resíduos sólidos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo d'água, necessitando para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível".

Esta definição é bem abrangente e pode ser visualizada de maneira simplificada nas diferentes divisões do fluxograma mostrado na Figura 28, apresentado em SCHALCH et al. (2001), ou seja:

Figura 28- Fluxograma dos diversos setores geradores de resíduos sólidos (SCHALCH et al., 2001).

Os resíduos sólidos recebem diferentes denominações dependendo de que tipo de material se trata, da região e de onde são gerados, como por exemplo: sucata, refugo, entulho, restos ou esgotos. Os tipos de resíduos sólidos são determinados, em grande parte, pelos hábitos e culturas da sociedade, bem como pelo fator econômico. Um exemplo simplificado da influência desse fator é a utilização do papel tipo 'sulfite', que utiliza-se hoje para imprimir um texto e que pode, amanhã, quando descartado, ter várias utilidades, como rascunho para anotações, matéria prima para produção de brinquedos infantis ou mesmo ser reciclado e voltar à condição de papel virgem.

No entanto, isso geralmente não acontece, já que a população tem o costume de descartar o papel usado, rasgando e jogando no lixo. Assim, a sociedade atual, motivada pelo consumo, em que o descarte de materiais é a solução 'natural', gerando diretamente um aumento nos gastos municipais, devido a manutenção dos aterros e contribuindo para a diminuição da vida útil destes locais de acondicionamento.

A problemática dos resíduos sólidos é tão abrangente que foi inserida em primeiro plano nas estratégias do desenvolvimento sustentável e, tendo como meta o manejo adequado dos resíduos por meio da implementação dos 3R (redução, reutilização e reciclagem dos resíduos), o que envolve a sociedade com uma maior conscientização ambiental, diminuindo o seu consumo exagerado, como também, o setor industrial, com a adoção de gerenciamentos mais adequados para seus resíduos.

A incineração e a reciclagem são os métodos mais utilizados pelos países industrializados, para reduzir ao máximo as quantidades de resíduos dispostos em aterros. Entretanto, a realidade brasileira é bem diferente, verificando-se que a maior parte dos municípios gerencia seus próprios resíduos sólidos para garantir seu transporte até a disposição final, o que geralmente acontece em áreas a céu aberto ou valas, distantes dos centros urbanos e com vias de fácil acesso (Figura 29). Em pouquíssimos municípios brasileiros, este circuito é quebrado pela inserção de procedimentos de triagem, coleta seletiva e compostagem.

SCHALCH et al. (2001) apresentam dados da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, para o ano de 1991, mencionando que o Brasil produziu aproximadamente 250 mil toneladas diárias de resíduos. Desse total, 76% foram descarregados a céu aberto (lixão), 13% dispostos em aterros sanitários, 0,9% tratados em usinas de compostagem e 0,1% incinerados. Cerca de

90 mil toneladas desse total eram compostos de resíduos de origem domiciliar, dos quais 21% nem sequer foram coletados, pois foram destinados diretamente a terrenos baldios, rios e encostas, contribuindo para a expansão da degradação de outras regiões (Figura 30).

Figura 29- Vista parcial do aterro sanitário controlado, localizado na cidade de São Carlos – SP, em junho/2002.

Figura 30- Margens do rio Tietê no interior do estado de São Paulo. Fonte: Jornal da Cidade de Bauru em 19/09/99.

A classificação dos resíduos sólidos pode ser realizada de diferentes maneiras. Esta pesquisa utilizou o critério definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1987) e pela OECD – *Organization for Economic Cooperation and Development*, apresentado em CINCOTTO (1988).

Pela norma brasileira NBR 10.004/87 (Resíduos Sólidos – classificação), o primeiro critério citado para a diferenciação dos resíduos é quanto à natureza ou estado físico, podendo ser sólido, líquido, gasoso e pastoso. A norma agrupa os resíduos em três classes, levando em consideração os riscos potenciais ao meio ambiente:

(a)- **resíduos classe I - perigosos** - são aqueles que apresentam periculosidade, possuindo algumas características, como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade,

(b)- **resíduos classe II - não inertes** - são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - perigosos, ou de resíduos classe III - inertes. Estes resíduos podem ter as seguintes propriedades: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. Estão incluídos nessa categoria os papéis, papelão, matéria vegetal e outros.

(c)- **resíduos classe III – inertes** - são aqueles que, submetidos ao teste de solubilização, não têm nenhum dos seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água (como aspecto, cor,

turbidez e sabor). Como exemplo destes materiais podem-se citar rochas, tijolos e vidros, que não são decompostos facilmente.

Outra classificação apresentada em CINCOTTO (1988) e NOLASCO (1993) e direcionada para os resíduos que podem ser incorporados na indústria da construção civil, são os agrupados em função do aproveitamento e de sua origem.

Em função da avaliação global têm-se as seguintes classes:

- (a)- **classe 1** - materiais com potencialidade de aplicação máxima. Possuem as melhores propriedades, tanto na sua ocorrência natural como na forma combinada, ou, quando já registrado algum desempenho satisfatório;
- (b)- **classe 2** - materiais que requerem um processamento mais extensivo e/ou quando as suas propriedades não são tão adequadas, quanto às da classe I;
- (c)- **classe 3** - materiais que se mostram menos promissores do que os das classes 1 e 2, recomendados somente para casos isolados;
- (d)- **classe 4** - mostram-se pouco promissores como material para construção civil.

Em função da origem, os resíduos se subdividem em cinco categorias:

- (a)- **grupo 1**- resíduos e subprodutos de mineração;
- (b)- **grupo 2** - resíduos e subprodutos metalúrgicos;
- (c)- **grupo 3** - resíduos e subprodutos industriais;
- (d)- **grupo 4** - resíduos municipais;
- (e)- **grupo 5** - resíduos e subprodutos agrícolas e florestais (cascas, serragens e resíduos da fábrica de papel).

Conforme citado anteriormente, essa pesquisa seguiu esta última classificação, especificamente ao grupo 5 (resíduos e subprodutos industriais).

2.3.1- Resíduo industrial proveniente da fabricação de celulose e papel

Todo o processo industrial tem como objetivo a geração de um produto que gera lucros para a empresa, tendo valor comercial perante o mercado. Todavia, a maior parte das indústrias produz subprodutos e resíduos para fabricar seu produto. Os subprodutos possuem valor comercial, enquanto os resíduos muitas vezes representam ônus à indústria, uma vez que necessitam de tratamento e transporte para seu destino final, além de ser, para a indústria, um sinalizador que demonstra perda de material e ineficiência do sistema de transformação da empresa, MARTINELLI (1985).

De acordo com a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SMA, 1997), o Estado de São Paulo é o recordista em geração de resíduos industriais gerando

cerca de 25 milhões de toneladas de resíduos industriais (perigosos e não perigosos) por ano, dos quais 535 mil toneladas são de resíduos sólidos perigosos: 53% tratados, 31% são armazenados e os 16% restantes são destinados para aterros aprovados.

As indústrias de papel e celulose são muitas vezes citadas pela mídia como fontes de poluição do ar, do solo e dos recursos hídricos, uma vez que os resíduos produzidos são lançados em aterros sanitários, promovendo, com o tempo, alterações nas características físicas, químicas e biológicas do sistema.

A produção de papel em diferentes regiões do país está apresentada na Tabela 04, com destaque para o Estado de São Paulo em primeiro lugar, com cerca de 46,2% de participação na produção total do Brasil.

Tabela 04 – Produção de papel nos estados brasileiros nos anos de 1996 e 1997.

ESTADOS	PRODUÇÃO (Ton)		PARTICIPAÇÃO (%)	
	1996	1997	1996	1997
São Paulo	282326	3009415	45,71	46,17
Paraná	1301944	1313918	21,08	20,16
Santa Catarina	1034037	1092185	16,74	16,76
Minas Gerais	249751	271013	4,04	4,16
Bahia	204978	257226	3,32	3,95
Rio de Janeiro	241059	224500	3,90	3,44
Rio Grande do Sul	147181	147421	2,38	2,26
Pernambuco	87608	91599	1,42	1,41
Maranhão	43839	60350	0,71	0,93
Pará	17871	17871	0,29	0,27
Amazonas	0	13270	0,00	0,20
Goiás	9093	9088	0,15	0,14
Paraná	10627	6522	0,17	0,10
Rio Grande do Norte	2357	2357	0,04	0,04
Alagoas	536	536	0,01	0,01
Ceará	1786	330	0,03	0,01

Fonte: Associação Brasileira de Celulose e papel - BRACELPA (1998).

Outros dados, publicados pela Associação Nacional dos Produtores de Papel e Celulose (BRACELPA, 1998), mostram um panorama das principais empresas fabricantes de papel e celulose, no qual o Grupo Votorantim ocupa a quarta posição na participação da produção brasileira, tanto para celulose, quanto para papel, conforme Tabelas 05 e 06.

As maiorias dessas empresas também contribuem de forma positiva, com a reciclagem de papéis usados e aparas. Em termos de quantificação, esses valores ainda são simbólicos, não constando nas Tabelas 05 e 06. No Brasil, segundo entrevistas com supervisores das indústrias Votorantim e Ripasa, o que move o comércio da reciclagem de papel está ligado diretamente ao fator econômico da população (pobreza) e não ao cultural, e assim, existem muitos catadores de papel, que vivem desse comércio, como também, a reciclagem por parte das indústrias, mas o uso desses materiais pela população brasileira ainda é muito pequeno, sendo a maior parte da fabricação exportada.

Tabela 05 – Maiores empresas brasileiras produtoras de celulose em 1998.

EMPRESAS	PRODUÇÃO (Ton)	PARTICIPAÇÃO (%)
Aracruz Celulose SA	1.165.139	17,42
Grupo Klabin	938.721	14,04
Grupo Suzano	894.784	13,38
Grupo Votorantim	669.721	10,02
Grupo Champion	372.009	5,56

Fonte: Associação Brasileira de Celulose e papel – BRACELPA (1999).

Tabela 06 – Maiores empresas brasileiras produtoras de papel em 1998.

EMPRESAS	PRODUÇÃO (Ton)	PARTICIPAÇÃO (%)
Grupo Klabin	959.628	14,56
Grupo Suzano	702.843	10,67
Grupo Champion	530.789	8,06
Grupo Votorantim	496.145	7,53
Grupo Ripasa	372.799	5,66

Fonte: Associação Brasileira de Celulose e papel – BRACELPA (1999).

Em relação aos resíduos industriais gerados por estas indústrias, a maioria delas possui sistemas de tratamentos que permitem o controle eficaz dos agentes poluentes à custa de elevados consumos energéticos e investimentos financeiros. Apesar da aplicação de diversos tratamentos, estes não solucionam, completamente, a problemática do que fazer com o resíduo final do processo de fabricação.

De acordo com SANTI & SEVÁ-FILHO (1998), um dos problemas para a utilização de resíduos como insumo é a localização geográfica do produtor e consumidor, pois, muitas vezes, o transporte inviabiliza o reaproveitamento em virtude das longas distâncias. Dessa maneira, a localização geográfica dos

produtores de resíduos, ou seja, a identificação e distribuição das indústrias de celulose e papel no Brasil (Figura 31) foram um dos pontos relevantes para a concretização do presente trabalho.

Figura 31- Distribuição das indústrias de Celulose e Papel no Brasil, com destaque ao elevado número de indústrias nas regiões Sudeste e Sul (BRACELPA, 1998).

A indústria Votorantim Celulose e Papel - VCP, unidade Jacareí, produz 2000 t/dia de celulose branqueada de eucalipto e 270 t/dia de papel. Por meio de visitas técnicas, observou-se que a empresa tem buscado constantemente melhorias no sentido da preservação do ambiente, pela adoção de um sistema de controle ambiental voltado às áreas ou setores, ou seja, cada setor da empresa tem compromisso em controlar seus níveis de agressão aos recursos naturais.

Assim, mediante um sistema de gerenciamento ambiental, a indústria atua pontualmente, desde a seleção das sementes a serem usadas na recomposição das matas, plantio das mudas, cultivo das árvores, combate às pragas, minimização nos gastos energéticos para a produção, até a fase final com o tratamento dos efluentes sólidos e líquidos gerados de todo o processo de fabricação. Segundo um dos supervisores de Meio Ambiente da fábrica de Jacareí, em comunicação pessoal, o efluente líquido é tratado na própria empresa e retorna ao processo de fabricação, enquanto o sólido gerado é encaminhado para o aterro sanitário. A produção diária do resíduo de celulose e papel, da unidade de Jacareí é cerca de 100 toneladas/dia.

2.3.2- O uso das fibras na construção civil

Vários estudos sobre a utilização de resíduos sólidos na produção de materiais de construção civil estão sendo desenvolvidos por todo o mundo, especificamente os que usam como base as fibras naturais. A aplicação das fibras naturais na construção tem sido feita há milênios, com o homem usando as fibras vegetais tanto para reforçar como para melhorar a durabilidade dos compósitos. Os registros mais antigos desta utilização foram constatados no Egito, verificando-se emprego dos adobes, reforçados com raízes. Na época do Renascimento (séculos XV e XVI) tem-se também registro do uso de placas de gesso reforçadas com fibras de sisal e crina de cavalo. Porém, apenas no final do século IX surgiram as primeiras experiências em produção racional destes materiais, inicialmente com mistura de pasta diluída de fibras vegetais. Em 1900, surge o primeiro material de construção reforçado com fibras, produzido em escala industrial, denominado de cimento amianto, que foi patenteado por Ludwig Hatescheck, de acordo com AGOPYAN (1991).

No decorrer do século XX, estudos e aplicações dos resíduos agrícolas e agro-industriais foram sendo desenvolvidos por países em desenvolvimento, sem o interesse de investimentos por parte dos países que dominavam o mercado da construção civil. Este fato contribuiu para o atraso nas pesquisas, bem como na divulgação e comparação de trabalhos.

Nos últimos 30 anos, houve aumento significativo nas pesquisas usando os resíduos agrícolas, industriais e urbanos como sub-produtos na fabricação de novos materiais para a construção civil. Segundo CINCOTTO (1988), os principais motivos que incentivaram os pesquisadores a desenvolverem trabalhos nessa área estão ligados primeiramente ao esgotamento ou futuro esgotamento de reservas de matéria prima; às exigências ambientais do mercado de importação e exportações de produtos; ao volume crescente de resíduos sólidos descartados e, nos países em desenvolvimento, à necessidade de compensar o desequilíbrio econômico provocado pela alta do petróleo.

Nesse contexto estão os trabalhos do professor brasileiro Vahan Agopyan, que utilizou as mais diferentes fibras vegetais (sisal, bananeira, coco, bagaço da cana de açúcar, etc) como reforço de materiais de construção, como apresentado em AGOPYAN & DEROLLE (1988), AGOPYAN (1991), AGOPYAN & SAVASTANO JR (1998). Segundo estes pesquisadores as fibras vegetais são

compostas por um grande número de células fibrosas (lignina e hemicelulose), que trabalham como agente cimentante.

No trabalho de NOLASCO (1993) são apresentados resultados não só com o uso das fibras, mas também de outros resíduos na elaboração dos materiais de construção e, como exemplos do uso das fibras; citam-se a fibra de coco na fabricação de telhas, a casca de arroz para a produção de concreto leve usados em painéis, bem como sugestões para o emprego da fibra celulósica.

No Brasil, existem instituições de pesquisas que trabalham com materiais alternativos na construção civil, merecendo destaque o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), que usa componentes à base de cimento reforçado com fibras naturais para a produção de diversos materiais de construção, como a telha, painéis de vedação, caixas d' água, etc. Outro grupo que merece destaque é o CEPED (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento), localizado na Bahia, que incorpora as fibras em argamassas para a produção de painéis, telhas onduladas, pias para cozinha, entre outros usos.

Especificamente, a utilização dos materiais de construção com as fibras vegetais provenientes das folhas, cascas ou caules, apresenta propriedades mecânicas pobres quando comparadas às fibras industriais (fibra de vidro e fibra plástica). No entanto, apresentam vantagens como baixa densidade (gerando muitas vezes materiais mais leves, renováveis e degradáveis), de baixo custo (quase sempre é usado o refugo da planta, o que iria ser jogado fora) e baixa demanda de energia na extração. Além dessas vantagens, seu emprego em conjunto com outros componentes (terra, cimento, gesso) produz materiais com propriedades melhores, com o aumento na resistência do material ao impacto, diminuição das fissuras e preservação da integridade estrutural do material.

Entre as fibras promissoras para o uso em materiais de construção, encontra-se a da celulose, principalmente considerando-se os resíduos provenientes da fabricação de papel. Segundo NOLASCO (1993), este resíduo apresenta características apropriadas para sua utilização na fabricação de materiais para construção civil, enquadrando-se na Classe II e no grupo 5, ou seja, é um resíduo gerado da indústria de papel e celulose com grande potencial de aplicação máxima, possuindo as melhores propriedades em sua ocorrência natural, forma processada ou combinada.

Além da viabilidade econômica e disponibilidade de material, deve-se considerar as características e/ou potencialidades do novo produto gerado para a

saúde humana. Portanto, estudos foram desenvolvidos para verificar o grau de toxicidade e a análise química dos resíduos provenientes da fabricação de celulose e papel.

A Figura 32 mostra o piso inferior da estação de tratamento do lodo residual da indústria VCP de Jacareí, com a saída do resíduo sólido pela laje (na parte superior) e, na Figura 33, montanhas de resíduo no pátio da empresa aguardando seu descarte final.

Figura 32- Saída do resíduo sólido da estação de tratamento da indústria VCP de Jacareí.

Figura 33- Vista geral do resíduo de celulose e papel, no pátio da indústria.

As quantidades de fibras existentes no resíduo estão apresentadas na Figura 34, conforme laudo técnico emitido pela própria empresa.

VOTORANTIM CELULOSE E PAPEL	SUPORTE OPERACIONAL LABORATÓRIO CENTRAL		
LAUDO DE EMISSÃO DE RESULTADOS			
Solicitante: Zeila			
Identificação da amostra			
Data da coleta: 16,17 e 18/06/00		Data da análise 19/06/00	
Tipo de amostra: Lodo Andrits			
Análises solicitadas			
% Fibras, Sol. Totais, Materiais Orgânico e Inorgânico			
	Unid.	Resultados	
Fibras	%	58,9	
Sólidos Totais	%	32,1	
Inorgânico	%	38,8	
Orgânico	%	61,2	

Figura 34- Laudo da indústria de celulose e papel VCP, com a porcentagem de fibras existentes. Fonte: Laboratório Central da VCP em Jacareí.

3- JUSTIFICATIVAS

A produção brasileira de papel, em 1997, segundo dados publicados pela Associação Nacional dos Produtos de Papel e Celulose, ficou restrita basicamente aos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Bahia, os quais contribuíram com 46,2%, 20,2%, 16,8% e 4,2%, respectivamente, para a produção total do País. O Estado de São Paulo produz cerca de 30.094,15 toneladas de resíduos anuais, ocupando o primeiro lugar na geração destes, o que justifica a necessidade do desenvolvimento de pesquisas direcionadas para o uso do resíduo de celulose e papel.

A indústria de papel do grupo Votorantim Celulose e Papel – VCP está na quarta posição no “ranking” das empresas brasileiras fabricantes, tanto de papel (7,53 %), como em celulose, com aproximadamente 10,02 % da participação nacional. A unidade de Jacareí, interior de São Paulo, fornecedora do resíduo, produz aproximadamente 100 t/dia.

De acordo com o laudo técnico cedido pela indústria VCP, a porcentagem de fibras no resíduo gerado pela unidade de Jacareí (58,9%) apresenta-se superior ao resíduo de celulose empregado em compostos de cimento e resíduo, por NOLASCO (1993), na cidade de Piracicaba (30% de celulose).

O uso de fibras nos materiais de construção não é destaque somente das construções em terra. Ela é amplamente usada na construção civil, com a finalidade de reforço de materiais. Sobre esse assunto AGOPYAN (1988), AGOPYAN (1991) & SAVASTANO JR et al (2000) apresentam dados relevantes na pesquisa nacional, onde se empregam fibras de coco, sisal, celulose, bagaço de cana, entre outras fibras disponíveis no Brasil, na fabricação de diversos materiais de construção.

A utilização das fibras existentes no resíduo da fabricação de celulose e papel, como subproduto de material de construção, está diretamente ligada aos conceitos de sustentabilidade, uma vez que é possível minimizar o processo de degradação ambiental, à medida que diminui o descarte do resíduo em aterros sanitários, além do fato das fibras agirem de forma positiva nos compósitos, melhorando as características físicas e mecânicas dos materiais de construção (CINCOTTO, 1988; AGOPYAN et al, 1990; AGOPYAN, 1991 e MINKE, 2001).

Em relação às moradias feitas com terra crua, existem controvérsias por parte dos pesquisadores quando estes estimam valores que referenciam a

quantidade de pessoas no mundo que habitam em construções de terra. Por exemplo, BARRIOS et al (1986) cita que um terço da população mundial habita em construções de terra; McHENRY (1999), comenta ser um valor próximo a 50% (dado este superestimado) e, mais recente, o trabalho de TROLLES (2000) cita uma proporção de um quinto da população. Apesar das divergências, pode-se inferir que existe uma grande parte da população que habita este tipo de construção, justificando o desenvolvimento de projetos tecnológicos adequados nesta área.

Em contrapartida, focalizando o déficit habitacional, o trabalho de HELENE & BICUDO (1994) apresenta dados aproximados da população mundial, mostrando que a população urbana quase triplicou desde 1950 até o final do século passado, gerando cidades super populosas, criando grandes metrópoles, onde uma pequena classe tem condições adequadas de moradia, educação e saúde, enquanto enorme parcela da população mora em condições precárias (cortiços e favelas), sem água corrente, saneamento básico, serviços médicos e educação.

No Brasil, segundo ORTEGA (1997), o déficit habitacional está estimado na faixa dos 5 (cinco) milhões de unidades, sendo que 1.600.000 estão situados na área rural e 4.000.000 na área urbana, e apenas 4% desta população possui uma renda superior a 8 salários mínimos. Esses dados demonstram a necessidade de novas pesquisas para o desenvolvimento de materiais alternativos que possam reduzir o custo da fabricação de materiais de construção no sentido de otimizar a produção de moradias para a população carente.

Atualmente, as moradias da população de baixa renda são muitas vezes construídas em mutirão ou autoconstruções e se utilizam de materiais industrializados. Esses materiais podem ser considerados poluentes desde a sua origem até em conjunto com outros componentes (após o uso na obra), por gerarem um grande volume de resíduo em todas as suas etapas de produção. Segundo REZENDE (1995), os entulhos das obras são resultantes das misturas de diferentes materiais em todas as fases da construção, o que pode gerar um desperdício (em massa) por volta de 30%. Do entulho que sai do canteiro de obra, cerca de 34% são relacionados aos materiais de vedação (tijolo comum), os quais são fabricados em olarias, onde a queima se processa em fornos de altas temperaturas.

Do ponto de vista do consumo de energia, HOUBEN (1997) e PORTÁ-GÁNDARA et al. (2001) apresentam dados significativos da economia de energia

que as habitações em terra propiciam. Direcionando para a técnica do adobe, McHENRY (2000) faz uma analogia do consumo de energia (em litros de gasolina) para fabricá-los, comparando-os com outros materiais. Segundo o autor para produzir 8 tijolos baianos, ou 5 blocos de concreto, ou, aproximadamente 50 tijolos de adobe prensados mecanicamente, se gasta um galão de gasolina, enquanto que, para os tijolos de adobe produzidos manualmente este valor decresce para praticamente zero. Porém, demanda mais tempo para sua fabricação. Ainda dentro das perspectivas atuais do emprego de materiais que consomem menos energia, alguns pesquisadores também citam a vantagem da terra como um produto que demanda pouca energia devido a facilidade de encontrá-la (material do próprio local) e, quando necessário, sua reciclagem é direta, pois o resíduo gerado nos canteiros de obras por este material é praticamente nulo, sendo que os tijolos não apreciados podem ser desfeitos e moldados novamente.

Então, uma das alternativas para minimizar o déficit habitacional, tendo em mente os conceitos de desenvolvimento sustentável e a utilização de materiais ecológicos (com menor consumo de energia para sua fabricação), é a confecção de tijolos de adobe com o encapsulamento dos resíduos provenientes das indústrias de papéis e celulose.

Dentre as técnicas de se construir em terra optou-se pelo tijolo de adobe, por duas razões. Uma delas é por ser este material muito semelhante ao tijolo cerâmico comum, usado constantemente em obras, o que torna mais fácil o aceite por parte do usuário, permitindo a continuidade da autoconstrução e/ou do sistema de mutirão. Essa técnica é aconselhada para solos arenosos (MAINE, 1997; NOLASCO, 1998; NEVES, 2000 e FARIA, 2000), característica esta bem predominante no solo do município de Bauru (AGNELLI, 1997), facilitando as coletas das amostras de solos.

Se produzido posteriormente em larga escala, poderá ainda diminuir os custos da empresa com o acondicionamento do resíduo, transporte e disposição, transformando-o em um subproduto de outro material.

Outro fator direciona-se às novas linhas da educação, nas quais o pesquisador deve buscar para a sua formação profissional, conceitos interdisciplinares e uma visão sistêmica da sua pesquisa, englobando diversas áreas de atuação. Assim sendo, este trabalho contemplou a esse requisito, uma vez que envolveu estudos nas áreas de engenharia, arquitetura, química, biologia e meio ambiente.

4- OBJETIVOS

4.1- Objetivos Gerais

Este trabalho teve como objetivo principal analisar a possibilidade do uso do resíduo da indústria de celulose e papel em tijolos de adobe, bem como definir o 'traço-ótimo' (aquele traço que contém a máxima porcentagem de resíduo a ser introduzido no solo do município de Bauru), baseando-se nas características físicas e mecânicas do material, como também nos indicativos de durabilidade, combustão (ação do fogo), desempenho térmico e acústico do material.

4.2- Objetivos Específicos

- estudar materiais de construção que utilizem o mínimo consumo de energia para sua fabricação;
- caracterizar o resíduo proveniente da indústria de papel e celulose quanto a sua composição química e toxicológica;
- avaliar a possibilidade de encapsulamento do resíduo proveniente da indústria de celulose e papel, minimizando os impactos ambientais negativos causados pelo descarte, em aterros sanitários, de resíduo sólido industrial resultante da produção de celulose e papel;
- caracterizar os tijolos de adobe (terra e resíduo) quanto as suas propriedades físicas e mecânicas;
- avaliar a ação da água (umidade) e das intempéries climáticas (temperatura, radiação, ventos, chuvas, pressão atmosférica) nos tijolos de adobe de diferentes traços;
- avaliar a combustão e a perda de massa devido à ação do fogo nos tijolos;
- avaliar numericamente o desempenho térmico e acústico dos tijolos de adobe, que justifique as constantes citações em trabalhos científicos, das habitações de terra com um excelente conforto térmico e acústico;
- contribuir para o enriquecimento da bibliografia brasileira referente às construções que usam técnicas em terra-crua com o emprego de solos tropicais;
- apresentar uma alternativa viável para construções resistentes e de baixo custo.

5- MATERIAIS E MÉTODOS

De maneira a simplificar a apresentação deste capítulo e, direcionando-o como uma forma de comparação com os resultados que serão apresentados no próximo capítulo, este item será subdividido em:

- **Análise do solo de Bauru;**
 - testes laboratoriais (análise granulométrica do solo);
 - ensaios expeditos (teste do vidro, teste da bola e ensaio de consistência);
- **Confecção das fôrmas**
- **Análise do resíduo de celulose e papel**
 - obtenção da massa específica do resíduo;
 - análise química e toxicológica do resíduo;
- **Produção do barro¹ (solo+resíduo);**
- **Testes desenvolvidos nos tijolos;**
 - ensaios de caracterização física e mecânica dos tijolos (umidade de equilíbrio, absorção de água, e determinação da resistência à compressão);
 - ensaio de condutividade acústica;
 - ensaio de condutividade térmica;
- **Testes aplicados nas diferentes placas de barro;**
 - ensaio de retração;
 - ensaio de gotejamento;
 - ensaio de intemperismo nas placas;
 - ensaios para avaliar a ação do fogo nas diferentes misturas (perda de massa, propagação das chamas e incombustibilidade de materiais de construção).

5.1- Análise do solo de Bauru

O solo utilizado para a confecção das diferentes misturas foi obtido ao lado do laboratório de solos, do Departamento de Engenharia Civil da Unesp, campus de Bauru, com predominância de areia em sua composição.

¹ A autora denominou de barro a mistura de solo e resíduo nos diferentes traços.

Segundo MILANEZ (1958), o solo deve ser retirado em dias de sol (não se deve coletar em dias de chuvas), a uma camada de 40 cm abaixo do terreno, uma vez que nas camadas superficiais existe a presença de muita matéria orgânica, torrões e fragmentos de rochas. A matéria orgânica, por exemplo, não é indicada para a construção civil, pois se decompõe rapidamente, contendo microorganismos nocivos à saúde humana, comprometendo assim a edificação.

Foram realizados dois tipos de ensaios, no laboratório com a análise granulométrica para obter a curva granulométrica e a composição do solo, e, em campo com os testes expeditos.

5.1.1- Análise granulométrica do solo

A análise granulométrica do solo foi realizada utilizando-se a Norma Brasileira, NBR 7181/84a, com uma combinação de sedimentação (para medir as partículas mais finas de argila e silte) e peneiramento do solo para medir as partículas maiores, de areia.

Na fase de peneiramento determina-se a quantidade percentual dos elementos que passam ou que são retidos em peneiras de aberturas normalizadas, e na etapa de sedimentação mede-se a velocidade de decantação dos elementos pela variação da densidade, calculando-se as suas proporções. No Brasil as peneiras utilizadas no ensaio de peneiramento são tecidas de arame formando malhas quadradas, com as seguintes aberturas: 4,8 mm, 1,2 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm.

No ensaio de sedimentação foi separada uma amostra de 100 gramas de solo e procedeu-se o destorroamento do solo com o auxílio de um socador, conforme Figura 35. Com a amostra bem solta, peneirou-a com uma peneira de abertura igual a 2 mm e colocou-a em imersão em uma solução de 125 ml hexametáfosfato de sódio (45,7 g de sal e 1 litro de água destilada) por 24 horas, cuja função é de ajudar na separação das partículas de argila da areia (Figura 36).

Após este período a amostra foi colocada em um copo de dispersão, removendo-se todo o solo, com o auxílio de uma bsnaga e água destilada. Adicionou-se então água destilada, até o seu nível ficar 5 cm abaixo das bordas do copo, e o aparelho dispersor foi ligado por 15 minutos, conforme mostra a Figura 37. A amostra foi transferida então, para uma proveta graduada onde foi inserida água destilada até alcançar a marca de 1000 ml. A proveta foi tampada com uma

mão e com a outra no fundo foram realizados movimentos manuais de rotação, por um minuto, Figura 38.

Imediatamente depois de terminada a agitação, colocou-se a proveta em uma mesa e introduziu-se um densímetro para medir a sedimentação, Figura 39. As leituras foram realizadas com o auxílio de um cronômetro, inicialmente, a 30", 1 e 2 minutos, depois com leituras a 4, 8, 15 e 30 minutos, e por fim, 1, 2, 4, 8 e 24 horas, a contar do início da sedimentação. As leituras são anotadas em um formulário apresentado no Anexo I. Junto com cada leitura foi medida a temperatura do ambiente em °C.

Figura 35- Destorroamento do solo com soquete para posterior peneiramento.

Figura 36- Amostra de solo colocado de molho no hexametáfosfato de sódio.

Figura 37- Inserção do solo e da água destilada no copo de dispersão.

Figura 38- Movimentos de rotação da proveta.

Figura 39- Leituras da sedimentação, com o densímetro introduzido na amostra.

Depois o material foi lavado sobre uma peneira de malha # 0,074 mm, secado e colocado em estufa por 24 horas. O material seco foi introduzido em um conjunto de peneiras para areia (nº 16, 30, 40, 50, 100 e 200) vibrando-as

mecanicamente por 10 minutos. Com a medição das massas retidas em cada peneira, e dos valores obtidos do ensaio de sedimentação construiu-se uma curva de distribuição granulométrica, cuja interpretação fornece as porcentagens exatas de areia, silte e argila, presentes na mistura.

5.1.2- Testes expeditos

Esses testes também são chamados de testes de campo, ou testes sensoriais e foram desenvolvidos com o auxílio das orientações de NEVES (2000a) e MINKE (2001), que apresentam vários testes *in situ*, dentre os quais utilizaram-se de três, ou seja:

5.1.2.a- Teste do vidro

O teste do vidro foi baseado na variação da velocidade de sedimentação das partículas em função das suas dimensões (as partículas maiores de areia, sedimentam mais rápidas). Este teste foi realizado colocando uma porção de solo até cerca de 2/3 do volume de um recipiente de vidro transparente e, em seguida, adicionou-se água, tampou-se o vidro e agitou-se bem a mistura.

Figura 40- Exemplo do teste do Vidro (MINKE, 2001).

O vidro foi deixado em repouso por 24 horas ou até não se notar mais sedimentação. Após este período, mediu-se a altura total do sedimento e das suas várias camadas, estimando-se por proporções as frações de argila, silte e areia, conforme ilustra a Figura 40.

5.1.2.b- Teste da bola

Existem dois testes com o solo moldado na forma de bolas. No primeiro, retira-se o solo superficial (folhas, galhos e matéria orgânica) e separa-se um pouco de solo, umedecendo com água até conseguir fazer bolas com as mãos, conforme mostrado na Figura 41. Se o solo contiver alto teor de argila, as bolas apresentam excesso de fissuras ao secar, ocasionadas devido à retração das partículas de argila. Ao contrário, se prevalecer a fração de areia, as fissuras não ocorrem, indicando que o solo é adequado à técnica do adobe.

Figura 41- Teste da bola com as amostras de solo-seco. (MINKE, 2001).

Figura 42- Teste da queda da bola, a 1 metro de altura do chão. (MINKE, 2001).

No segundo teste, uma bola de solo umedecida com água é amassada e solta em direção ao piso, de uma altura aproximada de um metro. Em função da forma de espalhamento do barro, avalia-se o solo é mais argiloso (da esquerda), ou é mais arenoso (da direita, esfarelado todo), conforme Figura 42.

5.1.2.c- Teste de consistência

A Figura 43 ilustra as diferentes etapas do teste de consistência apresentado em NOLASCO (1998).

1 - Pegue um pouco da mistura.

2 - Aperte na palma da mão

3 - Se ficar uma massa firme e com as marcas dos dedos a consistência está correta.

4 - Se escorrer água entre os dedos e a massa estiver muito mole, há excesso de água.

5 - Se a massa "esfarelar", não tiver coesão, está faltando água.

Figura 43- Ensaio de Consistência, (NOLASCO, 1998).

Para a realização do teste de consistência ideal do barro, deve-se apertar com a palma da mão uma certa quantidade de mistura. Se ficar com o

formato dos dedos e não escorrer água pelos vãos dos dedos, a mistura está com a consistência correta. Se escorrer água pelos dedos significa que o barro contém excesso de água ou, se a mistura esfarelar e não moldar o formato dos dedos está com falta de água.

Estes testes expeditos fornecem parâmetros preliminares importantes, mas não substituem os ensaios de laboratório, por meio dos quais, obtêm-se informações imprescindíveis, para uma melhor definição da qualidade do produto final que se deseja obter.

Enquanto aguardava-se a fabricação das diferentes fôrmas utilizadas neste trabalho, foram realizadas, simultaneamente, as análises do lodo residual de celulose e papel, cujas ordens de apresentação destas duas etapas, não interferem umas nas outras. Assim, optou-se inicialmente pela apresentação da produção das fôrmas, e depois os métodos de análises do resíduo.

5.2- Confeção das fôrmas

Segundo MINKE (1995), as fôrmas que moldam os tijolos de adobe, podem ser confeccionadas com diversos materiais (madeira, ferro e isopor) e, em diferentes modelos, segundo a Figura 44. O modelo escolhido para a fabricação dos tijolos foi o de fôrmas múltiplas de madeira com dimensões de 10 x 12 x 25 cm, semelhantes ao tamanho desenvolvido por NOLASCO (1998), com o objetivo de agilizar a produção dos tijolos, produzindo assim, de uma só vez 8 tijolos (Figura 45).

Nesta etapa, além das fôrmas dos tijolos também foram fabricadas mais cinco fôrmas para confecção de corpos-de-prova para os diferentes ensaios (Figura 46), que são:

- 1- Ensaio de retração - dimensões das fôrmas de 3,5 x 8,5 x 60 cm (Figura 46a);
- 2- Ensaio de intemperismo e gotejamento - mini-placas com dimensões de 2 x 15 x 15 cm (Figura 46b);
- 3- Ensaio de propagação superficial das chamas - placas de 2 x 30 x 80 cm (Figura 46c);
- 4- Ensaio de perda de massa - filetes de 2 x 2 x 100 cm (Figura 46c);
- 5- Ensaio de incombustibilidade de materiais de construção - fôrmas

de 4,5 cm de diâmetro e 5,0 cm de altura (Figura 46d).

Figura 45- Fôrma de madeira para produção de 8 tijolos.

Figura 44- Vários tipos de fôrmas de madeira (MINKE, 1995).

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 46- Vista geral das fôrmas de 3,5 x 8,5 x 60 cm (esquerda superior), das placas de 15 x 15 x 2 cm (esquerda central) e de 30 x 80 x 2 cm, dos filetes de 2 x 2 x 100 cm (direita) e dos cilindros de 4,5 cm de diâmetro e 5,0 cm de altura.

Antes da utilização das fôrmas, estas foram limpas e lubrificadas com óleo e areia, de maneira a facilitar a retirada do material depois de totalmente seco.

5.3- Análise do resíduo de celulose e papel

Segundo CINCOTTO (1988), o emprego de resíduos industriais na construção civil requer uma avaliação de viabilidade ou não do seu uso. Desta maneira, alguns critérios são sugeridos, como:

- a quantidade de resíduo disponível em um local deve ser suficientemente grande para justificar o desenvolvimento de sistemas de manuseio, processamento e transporte;
- as distâncias de transporte envolvidas devem ser competitivas com os materiais convencionais;
- o material não deve ser potencialmente nocivo à saúde humana durante a construção ou mesmo posteriormente a sua incorporação a outros materiais.

Conforme dito anteriormente, inicialmente foi realizada uma consulta prévia à Associação Brasileira dos Produtores de Papel e Celulose e constatou-se que cerca de 46% da produção nacional de papel e celulose está localizada no Estado de São Paulo. Após visitas técnicas à empresa Votorantim Celulose e Papel - VCP, na cidade de Jacareí, constatou-se uma produção diária acima de 100 ton/dia.

Quanto à avaliação das distâncias de transporte e competitividade com os materiais de construção industriais, NOLASCO (1993) cita que o produto se torna competitivo quando regionalizado, isto é, empregados a distâncias inferiores a 100 km. Este dado deverá ser considerado quando empregado em larga escala em construções habitacionais de baixo custo, que é o intuito posterior desta pesquisa. Restringindo as amostras dos tijolos fabricados em diferentes traços, para depois ensaiá-los, a indústria VCP se propôs a entregar o resíduo em qualquer ponto do estado de São Paulo.

As precauções tomadas no início do trabalho não levaram em consideração a distância 100 Km, mas sim, como já citado, à escolha da técnica em terra-crua a ser utilizada e, qual o tipo de solo a ser empregado na

confeção dos tijolos. Assim, optou-se pelos tijolos de adobe e para o solo que melhor se adaptava a esta técnica, considerando a grande porcentagem de solo arenoso presente no Estado de São Paulo, conforme Figura 27.

Para a determinação da massa específica do resíduo de celulose e papel, foi utilizada a norma brasileira NBR 9776/97 (Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do Frasco de Chapman).

Nas análises químicas e toxicológicas, o resíduo necessitou ser “aberto”, isto é transformar o resíduo sólido em amostras líquidas. Esta etapa foi realizada no Laboratório de Saneamento Básico do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP, seguindo as normas brasileiras para abertura de amostras de resíduos sólidos pelos métodos lixiviado (NBR 10.005) e solubilizado (NBR 10.006). No Laboratório de Ecotoxicologia do CRHEA/SHS/EESC/USP (com as amostras já no estado líquido), foram realizadas as análises químicas (segundo o manual STANDARD METHODS, 1971) e em relação à toxicidade do resíduo foram realizadas as análises segundo procedimentos da CETESB (1992), e também, do líquido proveniente do ensaio de gotejamento, para posteriormente, avaliá-lo e classificá-lo, conforme metodologias apresentadas a seguir.

5.3.1- Determinação da massa específica do resíduo

Para a determinação da massa específica do resíduo de celulose e papel seguiu-se a metodologia de GRANDE² (1991) *apud* NOLASCO (1993), que é uma adaptação da norma brasileira para determinar a massa específica de agregados miúdos (NBR- 9776/97).

Neste ensaio, foi utilizado um frasco de vidro com dois bulbos e um gargalo graduado denominado de “Frasco de Chapman”. Entre os dois bulbos existe uma marcação que corresponde a 200 cm³ e depois do segundo bulbo uma escala graduada que marca de 375 cm³ até 450 cm³. O material a ser utilizado (no caso o resíduo) deve ser coletado no dia anterior e colocado em uma estufa (com temperatura em torno de 100 °C) até a sua secagem completa ($\pm$ 24 horas). Segundo a norma, o experimento deve ser realizado colocando-se água no frasco até a marca de 200 cm³ e, em seguida, introduz-se 500 gramas do material no frasco, o qual é agitado levemente para eliminar as bolhas de ar. A leitura do nível

² GRANDE, L. A. C. (1991). Uso do pó de serra em argamassa. São Carlos. 98p. Dissertação de Mestrado, EESC/USP.

da água alcançado no frasco indica o volume, em cm³, ocupado pelo conjunto de água e material. Assim a massa específica do material pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$\rho = \frac{500}{l - 200} \quad (01)$$

onde:

ρ - é a massa específica do agregado miúdo, em g/cm³ e,

l - é a leitura no frasco do volume ocupado pelo conjunto água e material.

5.3.2- Análise química e toxicológica do resíduo

As amostras do resíduo sólido de celulose e papel foram 'abertas', isto é, transformadas em amostras líquidas, utilizando-se as recomendações das normas NBR 10.005 e 10.006, para lixiviação e solubilização de resíduos sólidos. Os dois procedimentos foram realizados pelos técnicos do laboratório de Hidráulica e Saneamento Básico da USP/São Carlos, e acompanhados pela autora.

Resumidamente, utilizou-se a norma NBR 10.006 para a solubilização da amostra do resíduo de celulose e papel. Este processo consistiu, em separar 250 gramas de resíduo seco em um recipiente de 1500 ml. Adicionando-se à amostra 1 litro de água destilada e agitou-se em baixa velocidade por 5 minutos. Tampou-se o frasco e deixou-se descansar por 7 dias. Após este período peneirou-se a solução em um aparelho de filtração com membrana tipo ME-25 de 0,45 mm de porosidade.

As recomendações da norma NBR 10.005 para abrir a amostra de resíduo pelo processo de lixiviação consiste basicamente em separar 100 gramas de massa úmida de resíduo e adicionar 1600 ml de água destilada. Agitou-se a amostra e mediu-se o pH. Como o pH inicial encontrado para a amostra do resíduo foi pH=8,9, este teve que ser corrigido, mediante a introdução do ácido acético 0,5 N, até encontrar um valor entre 4,8 e 5,2. Com o pH ajustado anotou-se o volume de ácido acético utilizado e colocou-se a mistura em um aparelho agitador do tipo "Jar-Test", por 24 horas. Após este período a amostra foi filtrada em membrana de 0,45 mm.

Após esta etapa, com o resíduo transformado em líquido (solubilizado e lixiviado), estes foram transportados para o Laboratório de Ecotoxicologia do CRHEA/EESC/USP/Itirapina, onde foram realizadas as análises químicas, seguindo as práticas de laboratório apresentadas no manual STANDARD METHODS (1971).

Os testes de toxicidade foram montados com as amostras líquidas do resíduo (lixiviado e solubilizado) e com as amostras de água destilada que percolaram as placas do ensaio de gotejamento. O teste de toxicidade seguiu os procedimentos da CETESB (1992), no qual avalia-se o comportamento de organismos vivos expostos em uma concentração de componentes químicos ou de uma amostra ambiental. Estes organismos foram inseridos nas amostras e estas foram mantidas em um local escuro e sem a adição de alimentos. Após 48 horas foi realizada a contagem de organismos vivos e imóveis (mortalidade ou imobilidade).

5.4- Produção do barro (solo e resíduo)

Antes de iniciar a etapa da produção dos diferentes traços de barro, devem ser separadas as ferramentas básicas que são necessárias para a confecção dos tijolos, a saber: peneira grande de pedreiro, pá de pedreiro, recipiente (lata de 18 litros) para medição do volume de solo, recipiente para a medição do volume de fibras, recipiente (balde) para a medição do volume de água, cápsulas para a determinação do teor de umidade da mistura, enxadas, pás e lona plástica para cobrir os tijolos já prontos.

Na segunda etapa, com todos os materiais em mãos, o solo seco foi coletado (Figura 47) no seu estado natural, passado em uma peneira grossa (# 4 mm) para uma melhor homogeneização e a retirada dos torrões de solo (Figura 48), espalhando-o no piso do galpão como se fosse preparar uma argamassa tradicional. Separadamente, fez-se a introdução do resíduo no recipiente com água, formando uma 'nata' (Figura 49). Ao solo espalhado, acrescentou-se a nata o resíduo e misturou-se o barro até conseguir a consistência ideal, conforme o teste de consistência apresentado anteriormente. O amassamento do barro foi realizado com os pés (Figura 50) até se obter plasticidade e trabalhabilidade adequadas, lembrando-se que os tijolos são moldados e as fôrmas são retiradas logo em seguida.

O barro amassado deve ser suficiente para o preenchimento dos tijolos e das diferentes placas.

Figura 47- Coleta do solo seco.

Figura 48- Etapa do peneiramento de solo.

Figura 49- Colocação de água no resíduo.

Figura 50- Amassamento do barro com os pés.

Figura 51- Solo sendo coberto com uma lona para evitar a perda de umidade.

Segundo MINKE (2001), é necessário que se amasse bem o barro, podendo ser realizado com os pés conforme tradição dos construtores de terra, ou com o uso de maquinário como a maromba. Após o “pisoteamento”, a mistura deve ser deixada em repouso de 24 a 48 horas para ocorrer maior homogeneização da mistura. Dessa maneira, após o amassamento, o barro, foi amontoado e coberto com lona plástica, para não ocorrer perda de umidade (Figura 51).

5.5- Ensaios e produção dos tijolos

Após o “repouso” (no mínimo de 24 horas), o barro deve ser novamente amassado e, só então, moldado nas fôrmas.

Nesta fase, seguindo as recomendações de FARIA & BATTISTELLE (2000), antes da moldagem dos tijolos, foram retiradas 3 amostras em cápsulas de

alumínio (previamente taradas), sendo pesadas e postas para secar em estufa, para posterior cálculo do teor de umidade do barro.

As quantidades de água inseridas nas misturas foram calculadas com a aplicação do teste de consistência apresentado no item 5.1.2.c.

Com a mistura preparada, foram lançados em golpes com as mãos, pequenas quantidades de barro no interior da fôrma, com cuidado de preencher a fôrma inteira. Quando terminado, apertou-se o barro levemente e, então, foi passada uma régua de pedreiro para retirar o excesso. A desmoldagem dos tijolos de adobe foi realizada logo em seguida, conforme Figura 52.

Figura 52- Moldagem e desmoldagem dos tijolos de adobe segundo NOLASCO (1998).

Figura 53- Tijolos expostos para a secagem ao sol.

Figura 54- Armazenamento dos tijolos e placas secas, aguardando os ensaios.

A secagem foi realizada inicialmente à sombra e, depois de 10 a 15 dias, diretamente ao sol (Figura 53), sobre estrados, e cobertos com lona plástica no período noturno e na ocorrência de chuvas. Depois de todos esses cuidados, os tijolos e as placas foram recolhidos, empilhados e armazenados em local seco e ventilado, conforme ilustra a Figura 54.

Segundo a norma NBR 8492/84c, devem ser moldados para cada traço

treze tijolos, dos quais dez são utilizados para o ensaio de resistência à compressão e os outros três para o ensaio de absorção de água. Além destes, mais nove tijolos foram separados, para os ensaios de condutividade térmica (4 tijolos) e condutividade acústica (5 tijolos).

5.5.1- Caracterização física e mecânica dos tijolos

Os ensaios nos tijolos de adobe basearam-se nos métodos apresentados nas normas brasileiras de tijolo maciço de barro cozido (NBR 6460/83 e NBR 8492/84), uma vez que não existe uma norma específica para os tijolos em terra crua. Com os tijolos completamente secos, procedeu-se a realização dos ensaios, nos laboratórios de Solos e Materiais de Construção Civil, da UNESP campus de Bauru, que são:

5.5.1.a- Umidade de equilíbrio ao ar

Inicialmente foi pesado cada tijolo seco, obtendo-se o peso seco ao ar, **Pa**. Depois, os tijolos foram colocados em uma estufa com temperatura próxima a 110 °C, para secar até a retirada total da água, obtendo-se, o peso seco, **Ps**. Segundo NOLASCO (1998), o período de secagem completa dos tijolos dura de 24 a 48 horas, o que pode ser observado com pesagens constantes.

A relação entre **Pa** e **Ps**, em porcentagem, forneceu o valor da umidade de equilíbrio ao ar, ou seja:

$$U = (Pa - Ps) / Ps \times 100\% \quad (02)$$

5.5.1.b- Absorção de água

Utilizando o método apresentado em FARIA (2000), 3 tijolos de adobe foram previamente secos em estufas (**Ps**) e deixados em repouso para voltar à temperatura ambiente (esfriar um pouco). Em seguida, foram colocados em um recipiente com água por 24 horas. Após este tempo, os tijolos foram retirados e secos superficialmente com um pano, e logo em seguida pesados, obtendo-se o peso saturado, **Pss**.

A diferença entre **Pss** e **Ps** forneceu o peso de saturação (**Pas**), e a

relação em porcentagem de **Pas** e **Ps** gerou a absorção de água, isto é:

$$A = (P_{ss} - P_s) / P_s \times 100\% \quad (03)$$

5.5.1.c- Determinação da resistência à compressão

Seguindo os procedimentos apresentados na norma brasileira NBR 6460/83 os tijolos foram moldados e rompidos de acordo com o ensaio de compressão simples, seguindo as etapas:

- medição do comprimento, largura e altura de cada tijolo, bem como o cálculo da área da seção transversal do tijolo e massa específica;
- pesagem dos tijolos;
- divisão dos tijolos ao meio, com um serrote;
- untagem com óleo da bancada onde foram colocados os tijolos;
- preparo da pasta de cimento;
- colocação da pasta na primeira metade do tijolo e compressão suave para a regularização da superfície inferior do corpo-de-prova (CP);
- aplicação de outra camada de pasta e outra metade de tijolo;
- novamente aplicação de pasta na superfície superior do corpo-de-prova e, em seguida, colocação de uma placa de vidro, untada com óleo para o nivelamento final.

Após 2 dias de secagem da pasta, os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de compressão, conforme ilustra a Figura 55. O valor da resistência à compressão simples de cada tijolo foi encontrado pela divisão da carga de ruptura (obtida no ensaio) pela área da seção transversal do corpo-de-prova ($\sigma = F/S$).

Figura 55- Corpo-de-prova pronto para ser testado no ensaio de compressão simples.

5.5.2- Ensaio de condutividade acústica

O método adotado para medir o isolamento acústico dos tijolos de adobe foi desenvolvido seguindo as recomendações apresentadas no trabalho de NOLASCO (1993), onde foram construídos caixas, com o posicionamento adequado dos próprios tijolos, com paredes laterais de 10 cm (espessura dos tijolos de adobe) e espaços internos entre eles, os menores possíveis, de maneira a inserir uma campainha pequena com emissão contínua de som. A campainha utilizada é conhecida comercialmente como cigarra, do tipo sonorização contínua de 5,0 W de potência, conforme Figura 56.

Do lado externo aos tijolos, a uns 10 cm, foi colocado um decibelímetro, que foi utilizado para medir a intensidade dos ruídos, sendo seu microfone dirigido para a fonte do som. As leituras foram realizadas na faixa A do aparelho (faixa de atuação da audição humana). O aparelho foi instalado para medir o nível de ruído com a parte superior da caixa aberta e, depois com a caixa fechada onde foi colocado um tijolo em cima para vedar o som.

As diferenças dos níveis de sensação acústica foram expressas em decibéis (dB), sendo resultantes da subtração das leituras realizadas, com a caixa aberta e fechada.

Figura 56- Ensaio de isolamento acústico, com detalhes: o posicionamento dos tijolos de maneira a formar uma caixa, a localização da campainha no seu interior com o interruptor e os fios que ligam à tomada geral, e também, o decibelímetro utilizado para medir a intensidade do som.

5.5.3- Ensaio de condutividade térmica

O ensaio realizado para a obtenção da condutividade térmica dos tijolos de adobe é conhecido como 'técnica de fio quente e paralelo', sendo este, desenvolvido no Laboratório de Propriedades Térmicas do Departamento de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal de São Carlos.

Para a aplicação desta técnica seguiu-se a metodologia apresentada no trabalho de SANTOS & CINTRA FILHO (1986), onde foram preparados os corpos-de-prova com os próprios tijolos de adobe. Para cada traço foram testados 2 corpos-de-prova, sendo os tijolos medidos, pesados e calculados suas respectivas densidades, antes da montagem do experimento.

Na primeira etapa foi feito o lixamento de duas laterais, de dois tijolos, onde as superfícies que irão colocar os fios deveriam estar o mais plano possível, sem irregularidades, evitando os escorregamentos. Esta verificação foi realizada com a colocação de uma fita de papel bem fina entre os tijolos, posicionado um sobre o outro (Figura 57). Caso a folha se solte dos tijolos com facilidade, significa que suas superfícies não estão polidas suficientemente e, então, os tijolos foram novamente lixados até se conseguir uma superfície bem plana para propiciar o melhor contato térmico.

Em um dos tijolos (base) foram realizadas duas ranhuras, bem finas, paralelas e distanciadas de 16 mm uma da outra. Na marca central foi colocado o termopar e na outra ranhura passou o fio quente (Figura 58). Os fios foram bem esticados e presos nas laterais, em presilhas fixadas num suporte de madeira (Figura 59).

Figura 57- Tijolos sendo lixados para conseguir uma superfície lisa e a colocação da folha de papel para verificação dessa superfície.

Figura 58- Arranjo do termopar e do fio quente no tijolo base.

Após os fios estarem bem presos nas presilhas, foram inseridas, no tijolo base, duas garras metálicas no formato de 'U', tomando o cuidado de inserir um material isolante, nas laterais, entre os fios e as garras, para que não ocorresse troca de calor entre eles durante a realização do experimento. Estas garras permaneceram unidas e bem apertadas com o uso de parafusos de rosca, para somente depois soltar as presilhas que prendem os fios esticados, segundo ilustra a Figura 60.

Figura 59- Vista lateral do suporte de madeira, com destaque para as presilhas laterais que fixam os fios bem esticados.

Figura 60- Vista superior do corpo-de-prova, com detalhe da colocação do termopar no meio do tijolo e, a 16 mm acima desse, o fio quente e as garras metálicas que mantêm os fios esticados.

Terminada a fase de colocação e fixação dos fios, os sulcos (marcas nos tijolos) foram preenchidos com uma massa feita com o pó obtido dos tijolos lixados. Sob o tijolo pronto foi colocado o outro e sob os dois foram inseridos pesos, de forma a manter as duas superfícies bem unidas. Em uma segunda etapa ligou-se o corpo-de-prova, montado (sanduíches de tijolos), em uma fonte de tensão contínua, a um circuito de aquecimento e a um micro computador que descarrega os dados de temperatura e condutividade térmica ao longo do ensaio, conforme o arranjo experimental ilustrado na Figura 61.

Como dados de entrada foram introduzidos: a média da densidade, a temperatura do ambiente, o tempo de ensaio, o tipo de termopar, a resistência do fio e a distância do fio ao termopar.

Figura 61- Esquema geral dos equipamentos utilizados no experimento de condutividade térmica pelo Método do Fio-Quente (modificado de SANTOS, 2000).

Como saída de dados, o programa gerou um gráfico de tempo (em minutos) em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Posteriormente, o gráfico foi filtrado pelo técnico, e escolhido um trecho deste gráfico (geralmente a parte central onde os valores são mais constantes). Após esta seleção o programa computacional gerou os valores de condutividade térmica, calor específico, difusividade térmica e coeficiente de correlação da curva.

5.6- Ensaio nas diferentes placas de barro

Com o mesmo barro que se fabricaram os tijolos foram confeccionados os corpos-de-prova (placas) para os diferentes ensaios utilizando as fôrmas apresentadas no item 5.2 (Figura 46). Os ensaios realizados nas placas serão apresentados a seguir.

Para a realização do ensaio de retração foram moldadas três fôrmas de cada traço (0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 40%), e para o ensaio de intemperismo e gotejamento foram moldadas seis amostras. Foram fabricadas duas placas grandes para o ensaio de propagação das chamas e quatro filetes (de cada traço) para o ensaio de perda de massa. O número de amostras, solicitado pelo IPT para o ensaio de incombustibilidade, foi de dez corpos-de-prova no formato cilíndrico.

5.6.1- Ensaio de retração

Os procedimentos adotados para a realização do ensaio de retração seguiram a norma brasileira usada na fabricação de solo-cimento (ABCP, 1986). O ensaio consistiu em preencher, com o barro a fôrma de madeira que foi untada previamente com óleo e areia. Segundo MINKE (2001) o tamanho ideal da fôrma para este ensaio é de 60 X 8,5 X 3,5 cm , conforme Figura 62.

Figura 62- Vista da fôrma de retração já preenchida e sendo nivelada.

Para retirar o excesso de barro, usou-se um arame ou uma régua e posteriormente, deixaram-se as placas secando por um período superior a um mês. Após a secagem completa do barro na fôrma, mediu-se a retração total na sua direção longitudinal, como também a retração relativa (em porcentagens). Este valor foi comparado ao da norma brasileira, cujo valor máximo é fixado em 20 mm.

5.6.2- Ensaio de gotejamento

É comum na literatura especializada (FATHY, 1976; HOUBEN, 1997; MINKE, 2001, entre outros) citações demonstrando a necessidade de tomar certos cuidados em construções com terra-crua, devido à alta sensibilidade do material à ação da água. Este ensaio tem como objetivo analisar esta capacidade dos tijolos de adobe, frente a esta ação.

Na ausência de ensaios normalizados para constatar a resistência do material terra à ação da água, desenvolveu-se esta etapa com o auxílio dos procedimentos experimentais descritos nos trabalhos de DIAZ (1987) e ROMERAL

et al. (1986), os quais analisaram diferentes solos espanhóis, com e sem uso de diferentes estabilizantes (cal, cimento e produto químico impermeabilizante).

O referido ensaio é realizado em corpos-de-prova de dimensões 2 x15 x 15 cm, confeccionados com o mesmo barro com que foram fabricados os tijolos. Após a secagem completa, as placas de barro foram retiradas das fôrmas e apoiadas sob uma base confeccionada de um estrado metálico com um recipiente, na parte inferior, para a coleta da água que percolar pelas placas.

O aparelho que simula o gotejamento consistiu de um galão de 20 litros, com água destilada, instalado a uma altura de 2 metros acima da base, onde estão colocadas as placas (Figura 63). Um gotejamento constante foi aplicado na placa, com gotas caindo em intervalos máximos de 50 a 60 gotas por minutos, e as leituras foram realizadas de hora em hora, observando-se todas as alterações nas placas, como a formação ou não de 'bolhas', o aparecimento do furo, seu diâmetro e profundidade, a presença de fissuras, a ocorrência ou não de alterações nas bordas, quebras totais, como também o tempo de perfuração total da placa. Estes dados foram comparados aos critérios estipulados em ROMERAL et al. (1986), que classificaram o comportamento dos furos em três níveis: alto, médio e baixo. As leituras foram inicialmente realizadas de hora em hora, nas seis primeiras horas e, depois, em intervalos de seis horas. O encerramento do ensaio ocorreu com a ruptura total da placa, ou após 24 horas corridas de experimento (tempo máximo de ensaio).

DIAZ (1987) concorda com os índices qualitativos (baixo, médio e alto) de ROMERAL et al. (1986), e, estipulou como comportamento baixo, o rendimento do material (placa) que, sob efeito do gotejamento, perfurou-se completamente antes de quatro horas de ensaio e rendimento alto quando a perfuração total não ocorrer no transcorrer das 24 horas de ensaio. Todas as outras situações intermediárias foram classificadas como sendo de rendimento médio.

Figura 63- Instalação dos reservatórios a 2 metros da base onde foram colocadas as placas.

Segundo estes pesquisadores, o ensaio deve ser repetido, para cada traço, no mínimo três vezes. Calcula-se, posteriormente, a média dos tempos de perfuração total em cada placa.

5.6.3- Ensaio de intemperismo

Este ensaio, também denominado de Ação Climatológica, consiste em expor ao tempo três placas de barro, de cada traço, com dimensões de 15 x 15 x 2 cm, de maneira a estabelecer uma relação entre os diversos traços frente aos agentes atmosféricos de uma determinada região, que oferece constantes variações climáticas como diferentes temperaturas, pressões atmosféricas, ventos, precipitações, etc. Estas placas devem ser colocadas no período mais chuvoso do ano.

DIAZ (1987) e ROMERAL et al. (1986), dando seqüência a análise da ação da água, nas placas compostas de solos espanhóis, estudaram também o seu comportamento quando expostas aos agentes atmosféricos, em um período de quatro meses, com vistorias semanais. As placas foram colocadas em uma bancada vazada, inclinada com ângulo de 45°. Esta inclinação segundo os referidos autores, foi usada de maneira a acelerar o processo de envelhecimento. No período do ensaio, foi registrada qualquer modificação nas placas, como por exemplo, o aparecimento de micro fissuras ou fissuras profundas, quebras das placas, desagregação mediana ou total; definindo parâmetros que permitiram relacioná-los entre si e também, com os dados encontrados no ensaio de gotejamento (baixo, médio e alto).

Figura 64- Termômetro instalado no centro da bancada.

Figura 65- Esquema geral da bancada de envelhecimento do ensaio de intemperismo.

Este mesmo procedimento foi realizado com as placas de terra e resíduo, onde internamente à bancada, foi colocado um termômetro (Figura 64) para serem realizadas medições de temperatura no mesmo instante em que fosse observado o aspecto das placas. Segundo ROMERAL et al (1986), a bancada foi instalada em um local aberto, sendo posicionada para a face sul (Figura 65).

5.6.4- Caracterização da mistura em relação a ação do fogo

Segundo MITIDIERI (1998), define-se como reação ao fogo dos materiais, a contribuição que os materiais de construção combustíveis, incorporados aos sistemas construtivos, pode oferecer para o desenvolvimento de uma situação de incêndio. Este comportamento frente ao fogo pode desempenhar um papel preponderante na evolução de um eventual incêndio. Assim as características que dizem respeito a facilidade com que os mesmos sofrem ou não ignição devem ser analisadas. Tais características são definidas pela rapidez com que as chamas se propagam pelas suas superfícies, a capacidade do material em sustentar a combustão, a quantidade de calor liberado no processo de combustão, ao desprendimento de partículas em brasa e, também, a geração de fumaça e gases nocivos à saúde humana.

De maneira simplificada, MARTIM & PERIS (1982)³ *apud* MITIDIERI (1998) consideram as seguintes características dos materiais de construção, que se relacionam diretamente com a ação do fogo: combustibilidade, poder calorífico, propagação das chamas, inflamação generalizada, perda de massa, produção de gases nocivos e densidade ótica da fumaça.

Das sete variáveis que caracterizam a reação ao fogo de um material de construção, neste trabalho foram analisadas três: combustibilidade, perda de massa e propagação das chamas. Os ensaios de perda de massa (Tubo e Fogo) e o de propagação das chamas (Método de Schlyter Modificado) foram desenvolvidos no LaMEM (Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras da EESC/USP), baseados nos trabalhos de AGUILLAR FILHO (1986), que analisou o efeito do fogo em diferentes tipos de madeiras com e sem tratamentos químicos de preservação e, na pesquisa de NOLASCO (1993), que verificou a ação do fogo em placas de

³ MARTIM, L.M.E.; PERIS, J.J.F. (1982)- Comportamiento al fuego de materiales estructurais. Madrid. Laboratório de Experiências e investigaciones Del Fuego, Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias.

cimento e resíduo de celulose e papel. O ensaio de incombustibilidade de materiais de construção, seguiu a norma ISO 1182/1990 (Fire Test –Building Materials), realizado no Laboratório de Segurança ao Fogo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT/USP/SP.

5.6.4.a- Ensaio de perda de massa devido à ação do fogo

O ensaio do Tubo de Fogo consiste em colocar barras de dimensões 2 x 2 x 100 cm (Figura 66) dentro de um maquinário e introduzir chamas na base das barras, medindo sucessivamente a perda de massa e a temperatura na parte superior destas. Antes do início do ensaio as barras devem estar totalmente secas e já pesadas, calculando P_i .

O equipamento mostrado na Figura 67 consiste de uma balança de travessão com uma das extremidades presa no tubo e outra suspensa, com um ponteiro metálico de marcação localizado sob um gráfico que representa, durante a realização do ensaio, a perda de massa. A barra foi inserida no tubo de ferro galvanizado e presa na parte superior por ganchos, enquanto que na extremidade inferior fica solta. Então, colocou-se na base um bico de Bunsen regulado de forma a produzir chamas com alturas de aproximadamente 28 cm e que envolvam a extremidade inferior da barra. Na metade da altura do tubo, internamente, existe um anel cilíndrico (de ferro), com aproximadamente 3 cm de diâmetro, que tem a função de manter a barra centralizada e estabilizada dentro do tubo.

O ponteiro, mostrado na Figura 67, foi ajustado no gráfico para a marca de 100% quando estiver vazio (sem a barra) e 0% quando a barra estiver suspensa e pronta para ser ensaiada. As regulagens são realizadas por meio da movimentação dos contrapesos existentes na haste de travessão em balanço.

O bico de gás foi preso 2,5 cm abaixo da extremidade inferior da barra, sendo regulado para produzir uma chama azul com 28 ± 1 cm de altura. Na parte superior do topo, foram introduzidos termômetros de modo a realizar as leituras das temperaturas ao longo de todo ensaio

A duração da exposição da barra ao fogo foi de 4 minutos, contados a partir do instante em que a chama entra em contato no tubo e até a remoção do queimador. As leituras foram realizadas a cada 30 segundos a partir do início do ensaio, até 2 minutos após as chamas terem desaparecidas totalmente (instante em que se cessa a inflamação - ID). Após o término do ensaio as barras foram

retiradas e pesadas novamente, obtendo o valor de P_f (peso final das barras queimadas).

Figura 66- Exemplos de barras com dimensões de (2 x 2 x 100) cm sendo deformadas para, posterior, introdução no Tubo de Fogo.

Figura 67- Maquinário utilizado para medir a perda de massa e a temperatura. (MITCHELL et al., 1996).

Caso seja impossível a obtenção de uma única barra com 1 metro de comprimento, deve-se confeccionar corpos-de-prova com pedaços menores, os quais são ligados através de grampos de ferro até se obter o comprimento desejado. Este procedimento foi realizado com sucesso nas barras de diferentes tipos de madeira por AGUILLAR FILHO (1986).

Para cada tipo de material, devem ser analisadas no mínimo três amostras (no caso, para os sete traços da mistura de solo e resíduo) e, por fim, calcula-se a média. No experimento são registrados os pesos iniciais e finais das barras (P_i e P_f); a temperatura no topo do tubo a cada 30 segundos (T), a temperatura máxima verificada durante o ensaio (TM); o instante que ocorre a máxima temperatura (ITM); o instante (ID) em que a inflamação cessa após o queimador ter sido retirado (duração da inflamação); o tempo de ensaio (t); a perda de massa (P) mediadas no gráfico em porcentagens e as medidas das

temperaturas no topo do tubo. Separadamente, com a diferença das pesagens antes e depois da barra ter sido ensaiada, calculou-se a perda de massa.

5.6.4.b- Ensaio de propagação das chamas

O ensaio que mede a altura das chamas devido a ação do fogo é denominado de Schlyter Modificado, que é empregado para avaliar a tendência da superfície dos materiais à propagação vertical das chamas. Este ensaio consiste em colocar duas placas paralelas, de dimensões 30 x 80 x 2 cm (Figura 68), em um equipamento, de maneira que o fogo seja inserido, na vertical, no meio das placas e, as alturas das chamas alcançadas ao longo do ensaio são medidas.

MITIDIERI (1998) afirma em seu trabalho que a velocidade de propagação superficial das chamas depende da posição do material, sendo menor na posição horizontal e consideravelmente maior na posição vertical, e que a diferença entre um pequeno ou um grande incêndio é atribuída diretamente a propagação das chamas.

Assim, esta variável foi verificada com a realização do Ensaio de Flamabilidade (Schlyter Modificado), no qual duas placas foram colocadas nas posições verticais e paralelas, utilizando a aparelhagem mostrada na Figura 69, que consiste de uma armação metálica destinada a sustentar as placas, uma de frente para a outra. Na extremidade inferior, entre as placas, coloca-se um bico de gás e um dissipador de gás em formato de "T", furado em 2 fileiras com 12 furos cada, com diâmetros de aproximadamente 3,3 mm. As placas foram fixadas paralelamente, mantendo uma distância de 5 cm entre si e com a base de uma delas 10 cm acima da base da outra. Uma régua com graduação visível foi inserida atrás do aparato para determinar a altura das chamas durante o decorrer do ensaio.

As leituras foram realizadas imediatamente depois de iniciado o ensaio e, então, a cada 30 segundos durante 3 minutos de exposição das placas ao fogo.

Em relação às chamas verificadas no ensaio foram anotados os seguintes dados: a altura das chamas durante todo ensaio (h); a duração da fumaça após desligar o queimador (D); o instante em que as chamas ultrapassam o topo da armação (I); a altura máxima atingida pelas chamas, a velocidade de propagação e o instante em toda a incandescência cessar. Mediu-se também a

altura da mancha preta no instante em que o queimador foi desligado (h_i) e após a placa esfriar (h_f).

Figura 68- Exemplos de placas de dimensões (30x80x2) cm para serem ensaiadas no Ensaio de Flamabilidade.

Figura 69- Equipamento utilizado no Ensaio de Schlyter Modificado.

5.6.4.c- Ensaio de incombustibilidade para materiais de construção

O ensaio de incombustibilidade foi realizado seguindo os procedimentos da norma ISO 1182/1990 – *Fire test – Building materials – Non combustibility*, que tem como objetivo identificar os materiais que contribuem ou não, de modo significativo, na propagação de um incêndio.

Para este teste foram utilizados dez corpos-de-prova no formato de um cilindro com dimensões de 45 mm de diâmetro e altura de 50 mm, segundo Figura 70. Cinco amostras foram separadas, testadas e calculadas as médias das temperaturas máximas alcançadas e, as temperaturas no final do ensaio. Caso haja problemas no decorrer dos testes as outras cinco amostras são então ensaiadas. Os corpos-de-prova depois de confeccionados e totalmente secos, foram preparados para este ensaio com a colocação de dois termopares localizados um em cima e outro no seu centro geométrico, sendo inseridos em um equipamento, conforme ilustra a Figura 71. O equipamento constitui-se de um forno do tipo EQ-004 programado para aquecer até $760\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Um terceiro termopar foi inserido a 10 mm da parede deste forno. As temperaturas nos termopares foram medidas constantemente e, o material é classificado como incombustível se:

- a elevação média da temperatura não exceder a 50 °C da temperatura média inicial;
- o tempo médio de chamejamento não exceder a 20 segundos e
- a perda média de massa não exceder a 50%.

Figura 70- Corpos-de-prova empregados no ensaio de incombustibilidade.

Figura 71- Forno do modelo EQ-004 utilizado nos testes de incombustibilidade

6- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nos diversos ensaios, seguindo a ordem que se desenvolveram os experimentos. Em uma primeira fase foram analisados, separadamente, o solo e resíduo de celulose e papel e, depois, realizados os ensaios com os diversos traços das misturas de solo e resíduo utilizados na fabricação dos tijolos e das placas.

No primeiro semestre de 2001 foram fabricados e analisados os traços 0%, 10%, 20%, 30%, 40% de volume de resíduo na mistura. Como os melhores valores da resistência à compressão chegaram perto do traço 20%, resolveu-se no segundo semestre confeccionar misturas, com tijolos de traços 15% e 25%, perfazendo um total de 7 traços analisados.

6.1- Composição granulométrica do solo de Bauru

Foram realizados ensaios de campo e de laboratório para a determinação da composição granulométrica do solo de Bauru (norma NBR 7181/84), utilizado na confecção dos tijolos.

O ensaio de campo empregado foi o teste conhecido como Ensaio de Sedimentação ou Teste do Vidro, sendo utilizado um vidro transparente cilíndrico e de fundo plano. Colocou-se 1/3 de solo seco (de Bauru) e completou-se com água limpa até 2/3 do volume total do frasco. Fechou-se completamente o recipiente e agitou-se vigorosamente o material. Após este agito deixou-se descansar a amostra por 24 horas e, só depois foi realizada a medição, Figura 72. O material arenoso depositou-se rapidamente no fundo do vidro e, logo acima da areia uma capa de argila, ficando flutuando na água os restos de material orgânico. As porcentagens de materiais lidas no vidro foram de: Areia= 80 % e Argila + Silte= 20%.

Figura 72- Teste do vidro com o solo de Bauru.

Figura 73- Bolas secas dos traços 0%, 10%, 20% e 40%.

O teste da bola foi realizado com a fabricação de bolas com o solo umedecido, nas mesmas misturas dos tijolos, e deixadas secando uma semana na sombra e mais uns 10 dias ao sol. As bolas depois de secas não apresentaram fissuras, comprovando a predominância do solo arenoso, conforme Figura 73.

Os resultados das análises granulométricas do solo de Bauru, seguindo os procedimentos tradicionais realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil, FET/Unesp-Bauru, estão representados nas curvas granulométricas da Figura 74, cujos formulários das análises estão apresentados no Anexo I.

Figura 74- Curvas granulométricas das duas amostras do solo do município de Bauru.

Um resumo dos dados dos ensaios granulométricos está na Tabela 07.

Tabela 07- Resumo do ensaio de sedimentação do solo de Bauru.

TIPO	AREIA %	SILTE %	ARGILA %
CAMPO (Vidro)	80	20	
LABORATÓRIO Amostra 01	85	6	9
LABORATÓRIO Amostra 02	84	5,5	10,5

Verificando os resultados do teste do vidro e das duas amostras ensaiadas no laboratório, observa-se que os valores foram próximos, caracterizando o solo como arenoso, como comentado em AGNELLI (1997) e apresentado de forma resumida no item 2.2.6.

6.2- Determinação da massa específica do resíduo

Como mencionado no capítulo anterior, item 5.3.1, a determinação da massa específica do resíduo foi obtida mediante uma adaptação da Norma Brasileira (NBR 9776/97) que especifica o cálculo da massa específica dos agregados miúdos por meio do Frasco de Chapman. A adaptação da norma, foi realizada através da substituição da água pelo álcool, que também foi utilizada no trabalho de NOLASCO (1993). Esta adaptação foi em virtude do resíduo de celulose e papel, usado pela pesquisadora ser extremamente leve. Este fato pode também ser verificado na Figura 75, onde é mostrado uma tentativa de pesar o resíduo (capeado com parafina), mas a leitura foi impossível, pois a amostra permaneceu boiando na superfície da água (não submergindo).

Os procedimentos adotados para a realização deste ensaio foram: a) separação e a secagem de 75 gramas de resíduo, em uma estufa com temperatura de aproximadamente 100 °C, por 24 horas; b) o lodo já seco foi colocado no Frasco de Chapman, onde se substituíram os 200 ml de água, de densidade igual a 1,0 g/cm³, por de 350 ml de álcool cuja densidade é 0,86 g/cm³ (Figura 76).

Figura 75- Tentativa de pesagem do resíduo.

Figura 76- Frasco de Chapman com resíduo de celulose e papel.

A massa específica do resíduo foi calculada em função de líquido deslocado no frasco, procedendo a leitura, do volume de álcool deslocado, como também, o cálculo da densidade específica do lodo, isto é:

- leitura do frasco de Chapman: 393 ml
- volume de álcool utilizado: 350 ml
- massa do resíduo de celulose e papel: 75 gramas
- massa específica do resíduo: $\rho = 75 / (393 - 350) \Rightarrow \rho = 1,75 \text{ g/cm}^3$

6.3- Análise química e toxicológica do resíduo de celulose e papel

Inicialmente as amostras foram lixiviadas e solubilizadas, conforme as etapas apresentadas no item 5.3.2, do capítulo referente à metodologia. A Figura 77 apresenta na parte da frente amostras do resíduo seco e, logo atrás, os frascos contendo amostras de resíduo lixiviado (cor amarela) e solubilizado (cor marrom escuro), como também as amostras de controle, conhecidas como 'branco'.

Figura 77- Amostras solubilizadas e lixiviadas do resíduo de celulose e papel.

Estas amostras foram encaminhadas para os Laboratórios CRHEA/EESC/USP, onde foi realizada a análise química do resíduo. Este ensaio teve a função de identificar e quantificar os elementos químicos encontrados no resíduo e classificá-lo. Para tanto, os técnicos seguiram as recomendações do manual STANDARD METHODS (1971), sendo os resultados apresentados na Tabela 08

Tabela 08- Análise química das amostras do resíduo de celulose e papel.

ANÁLISES	LIXIVIADO		SOLUBILIZADO	
	Laboratório	NBR 10005	Laboratório	NBR 10006
Alcalinidade(mg/l)	10,40	*	8,60	*
Dureza(mg/l-CaCO ₃)	2,02	*	1,660	< 500
pH	5.0	*	7.0	*
Sulfato (mg/l)	Acima de 75mg/l	*	Acima de 75mg/l	< 400
Cloreto (mg/l)	28,00	*	40,00	< 250
Nitrato (mg/l)	105,40	*	1.294	> 10.0
Sódio (mg/l)	22,60	*	41,50	< 200
Cromo (mg/l)	0,40	< 5,0	0,28	> 0,05
Zinco (mg/l)	3,49	*	0,24	*
Níquel (mg/l)	0,45	*	0,10	*
Ferro (mg/l)	2,78	*	42,83	> 0,3
Cádmio (mg/l)	0,07	< 0,5	0,04	> 0,005
Cálcio (mg/l)	1.908,80	*	3.593,14	*
Cobre (mg/l)	0,08	*	0,02	*
Chumbo (mg/l)	0,73	< 5,0	0,52	> 0,05
Manganês (mg/l)	13,00	*	11,06	> 0,1
Magnésio (mg/l)	38,90	*	34,68	*

* Valores não estabelecidos pela norma brasileira de lixiviação NBR 10.005 e solubilização (NBR- 10.006)

Os resultados apresentados Tabela 08, demonstram que o lodo residual é composto de vários elementos químicos em diferentes concentrações, sendo que os elementos predominantes, nos dois processos, são o cálcio e magnésio. Comparando-se inicialmente o processo solubilizado (quarta e quinta colunas) verifica-se que seis elementos (nitrato, cromo, ferro, cádmio, chumbo e manganês) ultrapassaram os limites da norma e, portanto, o resíduo não pode ser classificado como classe III (são aqueles que não possuem concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, estipulados pela NBR 10.006). Em uma segunda etapa, compararam-se os resultados obtidos da amostra lixiviada, aos estipulados pela norma NBR 10.005 (segunda e terceira colunas), verificando-se que todos atenderam aos limites da norma, sendo classificados, portanto, como **Classe II** (não inertes, podendo ter características de combustibilidade, biodegradabilidade e solubilidade na água).

Esta análise é realizada constantemente pela empresa Votorantim de forma a monitorar o lodo residual descartado. Segundo o laudo químico apresentado pela empresa BIOAGRI Laboratório Ltda, apresentado no Anexo II, verificou-se que o lodo residual pertencente à Classe II, é similar ao encontrado nessa análise realizada com a amostra coletada em fevereiro de 2001.

Os testes de toxicidade aguda, segundo CETESB (1992), são utilizados para avaliar, se a concentração de um composto químico ou de uma amostra líquida pode causar algum efeito adverso para um determinado grupo de organismo durante um curto período de exposição, sob condições controladas. Os resultados desses testes são geralmente expressos em porcentagem de organismos que sofreram efeitos adversos, como por exemplo mortalidade e ou imobilidade.

Este teste foi realizado pela técnica responsável pelo Laboratório de Ecotoxicologia do Centro de Recursos Hídricos Ecologia Aplicada de São Carlos, e acompanhado pela doutoranda. Resumidamente o teste consistiu em expor neonatos com idade de 6 a 24 horas às diferentes concentrações da amostra, mais um controle, com água de cultivo. Para cada concentração são testados 3 réplicas, com 5 organismos cada. Durante o período de teste, os organismos foram mantidos no escuro e sem alimento em sala com temperatura de 22 ± 2 °C. Após o período de exposição (48 horas), procedeu-se à contagem dos organismos imóveis, sendo considerados imóveis aqueles que não conseguiram nadar dentro de um intervalo de 15 segundos, após uma leve agitação na amostra. Os resultados dos testes de toxicidade aguda com *Daphnia similis* submetidas as amostras de celulose, solubilizadas e lixiviadas, estão apresentados na Tabela 09.

Tabela 09- Testes de toxicidade utilizando *Daphnia similis* (Cladocera), nas amostras do resíduo de celulose e papel (solubilizadas e lixiviadas).

AMOSTRA PURA	TESTE TOXICIDADE AGUDA – DAPHNIA SIMILIS				VARIÁVEIS FINAIS	
	pH inicial	% imobilidade	pH ajustado	% imobilidade	pH	OD
controle de laboratório	7.60	Zero (NT)*	---	---	7.85	7.7
controle filtro acetato	7.60	Zero (NT)	---	---	7.83	7.7
controle papel filtro	7.85	Zero (NT)	---	---	7.80	7.6
branco - solubilizado	7.20	Zero (NT)	---	---	7.4	8.0
celulose -solubilizado	7.80	Zero (NT)	---	---	8.4	7.4
branco - lixiviado	6.26	100 (T)**	---	---	6.94	7.8
celulose- lixiviado	4.32	100 (T)	7.7	100 (T)	5.2/7.9	7.8/8.1

pH - potencial hidrogeniônico, OD - oxigênio dissolvido

*NT- não tóxica

**T- tóxica

Analisando a Tabela 09 observa-se toxicidade na amostra do branco lixiviado e da celulose lixiviada, fato este que pode ser justificado pela introdução do ácido acético (embora em pequena quantidade) quando a amostra foi aberta, ou também pela modificação do seu pH. Deve-se, portanto, para esclarecer este resultado, repetir estas análises. Mas, de qualquer forma, a metodologia utilizada

para abrir a amostra pela norma de solubilização é a que mais se aproxima do ensaio de gotejamento (simulação das chuvas nos tijolos), uma vez que a presença de chuvas não agita os tijolos constantemente por 24 horas e, também, não ocorre uma mudança no seu pH, como no processo lixiviado.

Em uma segunda etapa foram realizados os testes de toxicidade com amostras dos líquidos que percolaram as placas de barro com resíduo, nos traços 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 40% (após o teste de gotejamento).

Nestas amostras foram inseridos organismos jovens de *Daphnia similis* (Cladocera) e durante 48 horas os neonatos foram deixados no escuro e sem alimentos (Figura 78). Após este período de exposição, procedeu-se à contagem dos organismos imóveis, sendo os resultados apresentados na Tabela 10.

Figura 78- Amostras da água percolada, no ensaio de gotejamento, aguardando contagem.

Tabela 10- Testes de toxicidade utilizando *Daphnia similis* (Cladocera), nas amostras provenientes do ensaio de gotejamento, nas placas de solo e resíduos em diferentes traços.

Solução Teste (%)	Nº de Organismos Expostos	Nº organismos imóveis em cada réplica			Imobilidade		Variáveis finais	
		1	2	3	Total	%	pH	OD
Controle*	15	0	0	0	0	0	7.71	7.3
10	15	1	0	0	1	6,6	8.08	8.1
15	15	0	0	0	0	0	8.02	8.1
20	15	0	1	0	1	6,6	8.08	8.1
25	15	1	0	0	1	6,6	8.02	6.7
30	15	0	1	0	1	6,6	8.08	6.9
40	15	0	0	0	0	0	8.27	7.8
Resultado: amostras não tóxicas								

* Água de cultivo dos organismos, pH= potencial hidrogeniônico, OD= oxigênio dissolvido.

De acordo com os resultados obtidos, as três amostras dos traços 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 40% não apresentaram toxicidade aguda para os

organismos-teste de *Daphnia similis*, com todos os valores abaixo dos índices máximos estipulados (30%).

6.4- Determinação de teor de umidade do barro

De acordo com as normas e recomendações dos ensaios de caracterização de solos, foram colhidas três amostras de barro para cada traço do compósito usado na fabricação dos tijolos. Foram realizadas as leituras das massas dessas amostras, antes (massa úmida) e após serem mantidas em estufa (massa seca). Os valores da massa úmida, seca e teor de umidade, expressos em porcentagem, estão apresentados na Tabela A-01 do Anexo III. A Tabela 11 mostra um resumo dos valores médios calculados das umidades relativas dos diferentes traços.

Tabela 11- Resumo das médias dos teores de umidade das misturas.

TRAÇO DA MISTURA (%)	UMIDADE (%)
0	10,4
10	9,8
20	10,7
30	30,1
40	37,2

Os resultados apresentados na Tabela 11 têm apenas o caráter informativo, pois a umidade da mistura não deve influenciar no resultado do ensaio de resistência à compressão, uma vez que os testes somente serão realizados com os tijolos e placas totalmente secas.

Observa-se que os primeiros traços analisados (0%, 10% e 20%) possuem um valor do teor de umidade próximo de 10%, enquanto os traços de 30% e 40% apresentam uma umidade acima de 30%. Este fato pode ser justificado pela utilização de um resíduo novo fornecido pela indústria VCP na véspera da confecção dos tijolos de traço 30% e 40%, não tendo sido possível secá-lo ao sol durante uma semana, da mesma maneira como fôra realizado no primeiro lote de resíduo.

Os valores de umidade da Tabela 11 confirmam a viabilidade da utilização do teste de consistência realizado, várias vezes na fase de "pisoteamento" e introdução da água, gerando bons parâmetros, que indicam por exemplo, para os traços 0%, 10% e 20% (com resíduo bem seco) para se obter uma consistência ideal são necessários a colocação de, aproximadamente, 25 litros

de água, enquanto que, para os traços 30% e 40% (com o resíduo úmido) uma quantidade próxima a 35 litros de água. Nessa tabela não foram constatados os valores de umidade para os traços 15% e 25% pois foram realizados 6 meses depois, mas com o mesmo resíduo usado nos traços 30% e 40%, só que bem seco. Os valores das umidades desses traços estão apresentados na Tabela A-01 do Anexo III. Em relação à quantidade de água inserida nessas misturas foram introduzidos 38 litros de água.

Em todos os traços, o acréscimo de água foi realizado em virtude da realização do teste de consistência, procurando sempre apertar uma quantidade de solo umedecida que marcasse o formato dos dedos, sem escorrer o líquido pelos vãos dos dedos.

Este aumento na quantidade de água foi constatado no trabalho de FARIA (2000), onde se comenta a necessidade do acréscimo de água para o amassamento do barro, em função do aumento da quantidade de fibras na mistura, cuja justificativa apresentada pelo autor, está relacionada diretamente à quantidade de fibras secas, que absorvem mais água, quando comparadas ao solo.

6.5- Moldagem e secagem dos tijolos

No mês de março de 2001 foram coletados os solos a uma profundidade de 40 cm abaixo da camada superficial, sendo estes peneirados e deixados separados, cobertos com lona plástica para evitar a penetração de sujeiras e também umidade nos dias de chuva. Para o cálculo do volume de terra e resíduo utilizado nas misturas, pode-se citar como exemplo o traço 10% onde se utilizou de um recipiente grande com dimensões de (30 x 30 x 40) cm de solo, o que corresponde a um volume de 36.000 cm^3 e, para o acréscimo de 10% em volume de resíduo introduziu-se na mistura 3.600 cm^3 , ou 3,6 litros medidos em recipientes pequenos, do tipo becker.

Na véspera de realizar o adensamento, o resíduo foi separado e colocado de molho na água. Esse absorveu toda a água, inchando-se e formando um "mingau", facilitando depois sua introdução no solo, com a obtenção de uma mistura mais homogênea. A nata de resíduo foi introduzida no solo, e mexeu-se inicialmente a mistura com o auxílio de uma enxada. Logo depois, foi realizado o amassamento com os pés, por duas pessoas durante uma hora, conforme Figura

79. Após este período, o barro foi amontoado e coberto com uma lona até o próximo dia, onde novamente foi pisado e adensado por mais meia hora.

Figura 79- Inserção do resíduo no solo.

Figura 80- Colocação do barro nas fôrmas.

Antes da introdução do barro nas fôrmas, estas foram untadas com óleo e areia, sendo o barro lançado de uma certa distância para que o impacto provocasse alguma compactação. Este procedimento é realizado de forma rotineira pelos adobeiros de Tiradentes-MG. Após o preenchimento das fôrmas, o solo é ainda socado (Figura 80), sendo depois realizado o nivelamento com uma régua grande, retirando o excesso de barro.

Para evitar a perda muito rápida de água, os tijolos inicialmente permaneceram uma semana secando a sombra, e depois passaram a secagem ao sol por um período de 15 a 21 dias, tomando o cuidado de cobri-los quando necessário para que não recebessem água de chuva ou sereno (Figura 81).

Figura 81- Tijolos secando ao sol, sobre tábuas de madeira.

A secagem completa dos tijolos foi verificada com o auxílio de pesagens sucessivas, até se encontrar o peso constante. Assim, os tijolos foram recolhidos e

guardados em prateleiras, dentro do laboratório, para serem posteriormente ensaiados.

Para os traços com maiores porcentagens de fibras (25%, 30% e 40%) foi observado a geração de odores durante a fase de mistura, 'pisoteamento' e moldagem dos tijolos, mas depois dos tijolos retirados das fôrmas e, totalmente secos os odores desapareceram.

No traço 10% houve uma tentativa de misturar o solo e resíduo com o uso de uma betoneira, porém não foi obtido o sucesso esperado, uma vez que o resíduo grudava nas pás da betoneira, não deixando a mistura homogênea, além de perder muito material. Portanto, foi descartada a idéia de usar a betoneira na fase do amassamento, empregando em todas as misturas o "pisoteamento".

6.5.1- Perda de água dos tijolos

No primeiro semestre de 2001, a cada fabricação de tijolos (traços 0%, 10%, 20%, 30% e 40%) foi retirado um tijolo modelo que foi pesado semanalmente para verificar sua perda de água semanal. As massas³ dos tijolos ao longo de quase quatro meses estão apresentadas na Tabela 12.

Pode-se observar na Tabela 12, que os traços fabricados com menores porcentagens de resíduo registraram massas maiores, isto é, os tijolos confeccionados nas mesmas fôrmas mas com maiores quantidades de resíduo geraram tijolos mais leves. Foi observado que nos 15 primeiros dias os traços 10% e 20% perderam cerca de 1.100 gramas e a partir da 4ª semana (de 26/04 a 04/05) todos os traços perderam 230 g. Outro fator observado no decorrer da semana de 11/05 a 18/05, foi o aumento de massa em todos os tijolos. Este ganho de massa de aproximadamente 240 g, foi decorrente do aumento na umidade do ar devido a intensa precipitação e baixa temperatura durante uma semana, mesmo estando os tijolos cobertos e bem protegidos. No período de 18/05 a 01/06, com a chuva menos intensa, não foi verificada uma perda de água dos tijolos. A partir da semana de 15/06, todos os traços perderam aproximadamente 10 g semanalmente.

³ É comum por parte dos pesquisadores utilizar a linguagem peso para as medidas de massa obtidas com as pesagens dos CP (corpos-de-prova) na balança.

Tabela 12- Massas dos tijolos dos diferentes traços, ao longo de 4 meses e após um ano.

DIAS	29/03	17/04	26/04	04/05	11/05	18/05	01/06	08/06	15/06	25/06	0-04-02
TRAÇOS											
10%	6640	5450	5410	5175	5155	5390	5440	5415	5405	5390	5375
Tara=235g											
20%	-	5955	4835	4570	4540	4775	4835	4805	4795	4785	4750
Tara=235g											
30%	-	5540	4660	4435	4095	4350	4405	4365	4350	4345	4330
Tara=235g											
40%	-	-	4510	4310	3780	4020	4060	4025	4015	4000	3990
Tara=235g											

Depois destas duas semanas, com o término das chuvas, durante todo o mês de junho, os tijolos ficaram descobertos ao sol. Também foi observado que os traços com menores quantidades de resíduo perderam mais água. Assim, a perda de massa total com a secagem completa dos tijolos foi:

- Traço 10% - perda de 1265 g (19,1 %);
- Traço 20% - perda de 1205 g (20,2 %);
- Traço 30% - perda de 1210 g (21,8 %);
- Traço 40% - perda de 520 g (11,6 %).

6.5.2- Absorção de água dos tijolos

Foram separadas e utilizadas três amostras de cada traço para este ensaio. Os tijolos foram pesados no seu estado natural e colocados em uma estufa por 24 horas. Após este período, os tijolos foram novamente pesados e colocados em recipientes retangulares que foram preenchidos com água até uma altura de 5 cm acima dos tijolos imersos. Estes permaneceram 24 horas submersos e, após este período foram retirados, cuidadosamente, e pesados, conforme Figura 82.

Figura 82- Tijolos na estufa, sendo retirados dos recipientes com água e pesados.

Figura 83- Vista geral do ensaio de absorção de água com tijolos fabricados com traços de 0%, 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo.

Figura 84- Traços 0%, 15% e 25% durante ensaio de absorção de umidade.

Os valores de suas massas (natural, seca e saturada) estão apresentados na Tabela 13, sendo calculado o teor de umidade e absorção de água pelas equações 02 e 03 (itens 5.5.1.a e 5.5.1.b), respectivamente. A coluna de absorção de água do traço 0% não foi preenchida em virtude da impossibilidade de pesagem do corpo-de-prova saturado, que após a imersão, os 3 tijolos desagregaram-se totalmente, como pode ser observado na Figura 83. No segundo semestre de 2001, juntamente com os ensaios de absorção de água para os traços 15% e 25% foram refeitos os tijolos do traço 0% e, todos novamente desagregaram, conforme Figura 84.

Comparando-se as médias da absorção de água da Tabela 13, pode-se concluir que o aumento de resíduo na mistura ocasionou um aumento na absorção de água, fato este esperado no transcorrer do ensaio, uma vez que a introdução do

resíduo gerou compósitos com mais vazios, e também a presença das fibras de celulose e papel no resíduo tende a absorver mais água quando umedecidas.

Tabela 13- Teor de umidade e absorção de água dos tijolos.

Traço 0% (sem resíduo)

Corpo-de-prova	Massa natural(g)	Massa Seca(g)	Massa Úmida (g)	Teor de Umidade(%)	Absorção (%)
1	4815,00	4785,00	-	0,63	-
2	5230,00	5200,00	-	0,58	-
3	4900,00	4750,00	-	3,16	-
MÉDIA				1,45	-

Traço 10%

Corpo-de-prova	Massa natural(g)	Massa Seca (g)	Massa Úmida (g)	Teor de Umidade(%)	Absorção (%)
1	4795,00	4760,00	5430,00	0,74	14,08
2	4400,00	4370,00	4980,00	0,69	13,96
3	4350,00	4320,00	4945,00	0,69	14,47
MÉDIA				0,71	14,17

Traço 15%

Corpo-de-prova	Massa natural(g)	Massa Seca(g)	Massa Úmida (g)	Teor de Umidade(%)	Absorção (%)
1	5180	5145	5940	0,68	15,45
2	5230	5190	6035	0,77	16,30
3	5085	5045	5845	0,79	15,85
MÉDIA				0,74	15,86

Traço 20%

Corpo-de-prova	Massa natural(g)	Massa Seca(g)	Massa Úmida (g)	Teor de Umidade(%)	Absorção (%)
1	4365,00	4330,00	5153,00	0,81	19,01
2	4445,00	4410,00	5190,00	0,79	17,69
3	4570,00	4530,00	5395,00	0,88	19,09
MÉDIA				0,83	18,60

Traço 25%

Corpo-de-prova	Massa natural(g)	Massa Seca(g)	Massa Úmida (g)	Teor de Umidade(%)	Absorção (%)
1	4455	4425	5350	0,67	20,90
2	4360	4325	5150	0,81	19,07
3	4510	4475	5345	0,78	19,44
MÉDIA				0,75	19,81

Traço 30%

Corpo-de-prova	Massa natural(g)	Massa Seca(g)	Massa Úmida (g)	Teor de Umidade(%)	Absorção (%)
1	4385,00	4350,00	5180,00	0,80	19,08
2	4010,00	3975,00	4850,00	0,88	22,01
3	4215,00	4180,00	4980,00	0,84	19,14
MÉDIA				0,84	20,08

Traço 40%

Corpo-de-prova	Massa natural(g)	Massa Seca(g)	Massa Úmida (g)	Teor de Umidade(%)	Absorção (%)
1	3800,00	3750,00	4780,00	1,33	27,47
2	3800,00	3735,00	4670,00	1,74	25,03
3	3820,00	3765,00	4835,00	1,46	28,42
MÉDIA				1,51	26,97

Na ausência de uma norma específica para comparar os resultados obtidos na Tabela 13, optou-se por uma analogia com a norma brasileira NBR 8492/84, para tijolos de solo-cimento, que restringe a média dos valores de absorção de até 20%. Assim sendo, os traços 30% e 40% já estariam excluídos, bem como o traço 0%, que demonstraram uma grave deficiência na absorção de água, onde as seis amostras de tijolos desmancharam-se totalmente após 24 horas de submersão, enquanto que, os tijolos com adição do resíduo, mesmo que em pequenas porcentagens, como no traço 10%, não desagregaram, mantendo-se intactos.

6.5.3- Determinação da massa específica do tijolo seco e resistência à compressão

Para a realização deste ensaio foram preparados 10 corpos-de-prova para cada traço, sendo estes numerados, medidos e pesados. Os resultados das medições e massas específicas estão apresentados nas Tabelas de A-02 a A-08, no Anexo III, e no Gráfico 01 estão plotados as médias obtidas das massas específicas de cada traço.

Analisando-se o Gráfico 01, observa-se uma redução de 25,5% na massa específica do traço 0 % para o traço 40% isto é, na medida em que os traços ficaram mais ricos em quantidade de resíduo, suas respectivas massas específicas diminuíam. Característica esta, positiva em relação à introdução do resíduo, uma

vez que acrescentando o resíduo (mais vazios) nas misturas, obtém-se tijolos mais leves e, conseqüentemente, construções com estruturas menos rígidas.

Gráfico 01- Massa específica dos tijolos em função da porcentagem de resíduos.

Para a realização do ensaio de resistência à compressão, 10 tijolos de cada traço foram separados, medidos, cortados e capeados, conforme representado na seqüência de ilustrações apresentadas a seguir, das Figuras de 85 a 89.

Figura 85- Tijolos já secos sendo separados para a medição e corte.

Figura 86- Tijolos sendo serrados para a montagem dos corpos-de-prova do ensaio de compressão.

Figura 87- Detalhe de um corpo-de-prova pronto; destacando o acabamento da superfície superior com o nivelamento por meio de uma placa de vidro.

Figura 88- Vista geral dos corpos-de-prova preparados aguardando a secagem da pasta de cimento empregada no capeamento e assentamento.

Figura 89- Aspecto do corpo-de-prova de compressão, após a ruptura.

Os resultados do ensaio de compressão estão apresentados no Anexo III, nas Tabelas de A-09 a A-15, sendo as medidas a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , b_1 , b_2 , b_3 e b_4 obtidas nos tijolos e representadas na Figura 90.

Figura 90- Notação utilizada para leitura das medidas nos tijolos de adobe.

No Gráfico 02 tem-se um comparativo dos valores de resistência à compressão, conforme Tabelas A-09 a A-15, do Anexo II. Verificou-se que a adição do resíduo resultou em uma redução no valor da resistência à compressão mas, por outro lado, a adição de resíduo proporcionou uma ruptura mais “suave”, pois os corpos-de-prova do traço 0 %, chamados de testemunha romperam-se de uma só vez, estourando-se completamente.

Gráfico 02- Resistência à compressão dos tijolos em função da quantidade de resíduo no barro.

Em termos de comparação a norma brasileira (NBR 7170/83) para tijolos maciços estipula um valor mínimo da resistência à compressão de 1,5 MPa (tipo A), e para os blocos cerâmicos utilizados somente como vedação (NBR 7171/92), um valor de 1 MPa. Desta forma analisando o Gráfico 02, os traços 10%, 15% e 20% seriam os escolhidos com seus valores próximos a 1 MPa, por esse ensaio.

6.5.4- Ensaio de condutividade acústica

Para a obtenção das características acústicas dos diversos tijolos foram elaboradas caixas com os próprios tijolos (Figura 91), usando internamente uma companhia tipo cigarra, com potência de 5,0 W. O aparelho utilizado para medir a intensidade do som foi um decibelímetro digital da marca SHACK, modelo 33-2055, conforme Figura 92. As medidas foram realizadas com a caixa aberta (L_1) e depois vedando o espaço interno com a colocação de um tijolo (de mesmo traço) na parte superior (L_2). O isolamento é calculado pela diferença de L_1 e L_2 . Foram realizadas três leituras e depois calculadas as médias.

Figura 91- Bancada geral, montada com os tijolos de adobe, baianos e tijolo comum para o ensaio acústico.

Figura 92- Detalhe do aparelho utilizado para medir a intensidade do som, Decibelímetro – SHACK/33-2055.

Visualizando a comparação dos dados deste ensaio com outros tijolos, elaborou-se caixas, na posição horizontal e vertical, com o tijolo alveolar (tipo baiano), tijolinho comum com paredes duplas (9,5 cm), de maneira que a espessura da caixa ficasse mais próxima a do adobe (10 cm).

Comparando os valores da Tabela 14 nota-se que o isolamento decresce em função do aumento de resíduo na mistura. O material apresentou um bom desempenho acústico, com valores acima do tijolinho comum e baiano (nas

duas posições), porém, quando comparados aos tijolos de cimento e celulose de NOLASCO (1993) nos traços 1:2 (8 dB) e 1:3 (9 dB) resultaram em valores menores. Este fenômeno pode ser justificado pela espessura das paredes dos tijolos onde os de abobe possuíam 10 cm, enquanto que, os de solo e celulose possuíam 20 cm e, segundo a teoria básica de isolamento acústico a espessura e a massa dos materiais de vedação são parâmetros essenciais que interferem diretamente nos resultados acústicos.

Tabela 14- Isolamento acústico dos tijolos de adobe, em função do traço e espessura.

Traços	Espessura (cm)	L ₁ - dB	L ₂ - dB	Isolamento - dB
T 0%	10,0	87	78	9
		77	67	10
		76	69	7
		Média		8,7 dB
T 10%	10,0	86	80	6
		77	69	8
		77	72	5
		Média		6,3 dB
T 15%	10,0	76	68	8
		93	89	4
		83	77	6
		Média		6,0 dB
T 20%	10,3	87	79	8
		82	76	6
		78	75	3
		Média		5,7 dB
T 25%	10,2	84	78	6
		76	73	3
		87	82	5
		Média		4,7 dB
T 30%	10,0	83	77	6
		88	85	3
		88	84	4
		Média		4,3 dB
T 40%	10,0	83	77	6
		84	81	3
		82	78	4
		Média		4,3 dB
Tijolo maciço	9,5	96	94	2
		99	96	3
		83	82	1
		Média		2,0 dB
Tijolo Baiano (vertical)	8,6	96	94	2
		93	90	3
		84	83	1
		Média		2,0 dB
Tijolo Baiano (deitado)	18,5	90	87	3
		92	90	2
		80	77	3
		Média		2,7 dB

Comparando-se as colunas 01 e 05 da Tabela 14 nota-se claramente que o aumento de resíduo nos diferentes traços fez reduzir o desempenho do material enquanto isolante acústico. Este fato já estava sendo esperado, pois como constatado na Tabela 12, houve uma grande perda de massa nos tijolos com o aumento de resíduo, decrescendo de 5,4 Kg do traço 0% até 4,0 Kg para o traço 40%. Segundo a teoria de condutividade acústica o desempenho acústico do material é proporcional a massa do material. Ainda comparando os valores obtidos deste ensaio com resultados dos tijolos baianos (nas duas posições) e os tijolos maciços pode-se dizer que para uma mesma espessura os tijolos de adobe apresentaram desempenho muito melhor.

6.5.5- Ensaio de condutividade térmica

Foram utilizados neste ensaio dois corpos-de-prova de dimensões aproximadas de (10 x 11 x 24) cm, com dimensões menores que as das fôrmas (devido à retração), fio de diâmetro 0,51 mm tipo Khantal - DS e termopares do tipo J de "ferro constantan", com 0,5 mm de diâmetro. Para a montagem do corpo-de-prova (Figura 93), seguiu-se à metodologia descrita no item 5.5.3. Depois de prontos, estes foram ligados ao equipamento específico do laboratório de Propriedades Térmicas do Departamento de Engenharia de Materiais da UFScar (Figura 94) que, por sua vez, eram ligados a um microcomputador onde foi gerenciado todo o experimento.

Figura 93- Corpo-de-prova pronto para ser ensaiado (Ensaio de Condutividade Térmica).

Figura 94- Equipamentos utilizados no ensaio de condutividade.

Os resultados foram mostrados na tela do microcomputador apresentando uma saída de dados, originadas da compilação do programa que gerencia o experimento, conforme Figura 95.

Figura 95- Exemplo da tela do computador que gerencia o ensaio de condutividade térmica dos tijolos de adobe do traço 0%.

A Tabela 15 apresenta um resumo dos resultados obtidos nos ensaios de condutividade térmica. Os laudos técnicos deste ensaio estão apresentados no Anexo IV.

Tabela 15- Resumo dos dados obtidos no Ensaio de Condutividade Térmica.

Traços	Densidade da Amostra (g/cm ³)	Condutividade Térmica (W/m ² ·K)
0 %	1840	1,32
10 %	1740	1,07
15 %	1710	1,02
20 %	1600	0,92
25 %	1610	0,79
30 %	1510	0,77
40 %	1370	0,61

Segundo a teoria das propriedades térmicas dos materiais, o coeficiente de condutividade térmica significa a maior ou menor facilidade que um material possui em conduzir calor. É também definido numericamente, como a quantidade de calor transmitido através de um corpo de um metro quadrado de área e um metro de espessura, quando submetido a uma diferença de temperatura unitária entre suas faces, em um tempo unitário.

Em regiões de clima quente (tropical), existe a necessidade de utilização de materiais de construção com um bom isolamento térmico, isto é, um mal condutor de calor (baixos valores de condutividade térmica), como por exemplo o isopor, madeira, lã e também, paredes duplas com bolsões de ar no meio, sendo

que o aumento de ar contido no material acarreta uma diminuição da condutividade. Estes tipos de materiais retardam a transferência de calor do lado exterior para o interior da edificação. As construções em terra crua (como o adobe), citadas várias vezes na bibliografia, são conhecidas como ambientes de ótimo isolamento térmico, isto é, elas recebem o calor externo, absorvem bem, segurando-o e, depois de um período de tempo, expõe ao ambiente interno. Essa é uma das razões de seu emprego nos países de clima quente com a África, o Egito e atualmente, a Austrália e EUA, principalmente no estado do Texas.

Em relação aos resultados obtidos verifica-se na Tabela 15, nas colunas 1 e 3, que o aumento de resíduo é inversamente proporcional aos valores de condutividade. Com a introdução do resíduo e, conseqüentemente, de vazios (celulose e ar no interior da mistura), esperava-se que os valores de condutividade térmica decrescessem e isto realmente ocorreu, pois os valores de condutividade começaram com 1,32 W/m²K para o traço 0% e chegaram a 0,61 W/m²K para o traço 40%. Comparando estes valores com o resultado do tijolo sílico-aluminoso, testado com esse mesmo método, no trabalho de SANTOS & CINTRA FILHO (1986), nota-se que o traço 0% (1,32 W/m²K) foi o que mais se aproximou do valor do tijolo de sílica (1,30 W/m²K). Assim, com a incorporação do resíduo aumenta mais o desempenho do material em relação a condutividade, quanto maior a porcentagem de resíduo maior é o seu ganho.

Com a finalidade de comparação, apresenta-se uma nova tabela (Tabela 16), onde são apresentados alguns materiais de construção e seus respectivos coeficientes de condutividade térmica.

Tabela 16- Exemplos de condutividade térmica de alguns materiais de construção.

Materiais usados em paredes	Condutividade térmica (W/m²K)
Madeira compensada	0,15
Madeira com densidade elevada	0,29
Concreto celular (autoclavado)	0,17
Tijolo e telhas de barro cozido	1,10
Concreto normal	1,75

Fonte: DARE (2001).

Em caso de países com climas predominantemente quentes, como o Brasil e, se esta pesquisa restringisse apenas na escolha do melhor traço em relação a esse ensaio, o traço 40% seria o escolhido, com menor valor de condutividade térmica (no caso do adobe com o resíduo de celulose e papel).

6.6- Ensaio nas placas de barro

Este item apresentará os ensaios realizados nas diferentes placas de barro como o ensaio de retração, gotejamento, intemperismo nas placas e nos tijolos, bem como, os ensaios que verificaram a ação do fogo (perda de massa, propagação das chamas e incombustibilidade para materiais de construção).

6.6.1- Ensaio de retração

Para a realização deste ensaio foram utilizadas três fôrmas de madeira para cada traço do compósito de resíduo e solo. Após 3 meses, com o barro totalmente seco foi realizada a leitura em cada fôrma e calculadas as médias, conforme mostram a Tabela 17 e Figura 96.

Figura 96- Vista geral do ensaio de retração.

Tabela 17- Resultados do ensaio de retração.

TRAÇO DA MISTURA (%)	RETRAÇÃO TOTAL(mm)	RETRAÇÃO RELATIVA(%)
0	8,50	1,42
10	3,95	0,66
15	5,50	0,92
20	6,67	1,11
25	7,30	1,22
30	9,00	1,50
40	12,4	2,00

A norma de solo-cimento (ABCP, 1986) recomenda uma retração máxima de 20 mm ao longo do comprimento da fôrma. Desta forma, analisando os resultados apresentados na Tabela 17, conclui-se, em uma primeira análise, que todos os traços seriam aceitos por esta Norma. Também se verificou a influência positiva do resíduo na mistura, uma vez que a retração cai de 8,5 mm (sem resíduo) para 3,95 mm com 10% de resíduo (quantidade mínima acrescentada de resíduo). Do traço 10% até 40% a retração total aumentou sucessivamente, o que ocorreu devido à inserção de vazios nas misturas ocasionados pelo aumento de resíduo (fibras).

Assim, por este ensaio e, em comparação com a norma, até 40% de resíduo na composição do barro seria aceitável.

6.6.2- Ensaio de gotejamento

De acordo com os procedimentos desenvolvidos no trabalho de ROMERAL et al (1986), foram confeccionadas três placas de cada traço da mistura

solo e resíduo. Depois de secas, as placas foram colocadas sob uma tela vazada com um recipiente em baixo, que teve a função de armazenar a água que interpolava pelas placas (Figura 97). Estas amostras de água foram coletadas e enviadas para o Laboratório de Ecotoxicologia da EESC/USP.

Figura 97- Vista geral da colocação das placas do ensaio de gotejamento.

Figura 98- Aparelhagem de simulação do gotejamento.

A uma altura de 2 metros foram instalados recipientes contendo água destilada e, uma mangueira, cuja extremidade simulava um gotejamento constante de 50 a 60 gotas por minutos, conforme representado na Figura 98.

ROMERAL et al (1986) e DIAZ (1987) definiram o desempenho de diferentes compostos de solos, frente ao gotejamento, em:

- Baixo desempenho (quando a perfuração do material ocorre antes de 4 horas após o início do ensaio);
- Médio desempenho (a perfuração total ocorre de 4 a 24 horas de ensaio);
- Alto desempenho (a perfuração total não aparece no decorrer de 24 horas de ensaio).

Os resultados foram coletados de hora em hora, ao longo das 24 horas de ensaio, sendo observadas todas as modificações existentes nas placas; como por exemplo, o aparecimento dos furos, diâmetro e profundidade (até o gotejamento ultrapassar as placas) e também as alterações nas bordas.

No anexo III, nas Tabelas de A-16 a A-22, apresentam-se detalhadamente estas leituras, sendo utilizado como nomenclatura: m – para a marcação superficial nas placas, f – se o furo for visível e para a profundidade do furo (R - raso; I - intermediário; P - profundo e T - total).

Verifica-se, pelos resultados obtidos, que os traços com menores porcentagens de resíduo (0% e 10%) sofreram uma maior suscetibilidade à

umidade direta, com rompimento em aproximadamente três horas, conforme ilustra a Figura 99 e, portanto, classificados de baixo desempenho. Outro aspecto também observado foi o formato dos furos apresentados nas placas com resíduo, onde os traços com resíduo (mesmo em pequenas porcentagens) apresentaram furos mais concentrados, no formato de um cone (Figura 100), diferentes aos verificados no traço 0%, que chegaram a um diâmetro de 2,5 cm, espalhados e com a presença de fissuras.

Figura 99- Aspecto geral da placa do traço 0% após o ensaio de gotejamento.

Figura 100- Aspecto geral da placa ensaiada do traço 25%.

Seguindo as recomendações de ROMERAL et al (1986) e DIAZ (1987), foi elaborado um quadro resumo, classificando assim, o desempenho das diversas placas frente ao gotejamento, conforme demonstrado na Tabela 18.

Tabela 18- Resumo dos resultados do ensaio de gotejamento.

Traços (% de Resíduo)	Tempo de perfuração (h)				Classificação
	CP1	CP2	CP3	média	
0	3	3	3	3,0	Baixo
10	3	3	5	3,7	Baixo
15	6	7	5	6,0	Médio
20	10	8	8	8,7	Médio
25	9	8	8	8,3	Médio
30	7	10	9	8,7	Médio
40	5	7	6	6,0	Médio

Analisando-se a Tabela 18 observa-se que os traços 0% e 10% apresentaram um **baixo desempenho** frente ao gotejamento. Já as placas do traço 15% foram perfuradas com o dobro do tempo das placas de menores traços, sendo considerada de **médio desempenho**, juntamente com os traços de 20% a 40%. Portanto, os melhores desempenhos ficaram para os traços intermediários 20%, 25% e 30%, sendo perfurados com uma de média de 8,3 a 8,7 horas.

ROMERAL, et al. (1986) e DIAZ (1987) realizaram o ensaio de gotejamento com diferentes tipos de solos coletados em regiões da Espanha, que

são utilizados tradicionalmente em autoconstruções. Foram confeccionadas 'bandejas' (placas) com e sem estabilizantes, e concluíram que as placas somente de solo comportaram-se de forma negativa neste ensaio de gotejamento, com um tempo médio de perfuração de 2 a 5 horas e 30 minutos. Comparando este dado com o presente estudo (Tabela 18) verifica-se que os traços acima de 15% em volume de resíduo alcançaram valores superiores a esses.

No trabalho de BARDOU & ARZOUMA (1979), foi comentado a colocação das fibras naturais em compósitos de terra crua onde, segundo os autores, a introdução correta das fibras assegurou uma maior firmeza ao material, protegendo as edificações de terra das infiltrações causadas pelas águas da chuva. O problema, segundo os autores, foi a obtenção da porcentagem correta que deve ser incorporada à mistura, pois também o seu excesso, propicia o enfraquecimento do material. Esse fato foi observado no traço 40%, onde decresceu o tempo de percolação de 8,7 horas (traço 30%) para 6 horas.

6.6.3- Ensaio de intemperismo

No ensaio de intemperismo, também chamado de ação climatológica, as placas 15 x 15 x 2 cm de diferentes traços foram expostas aos agentes climáticos por um período aproximado de 4 meses, conforme apresentado nas Figuras 101 a 106. O ensaio iniciou-se com a colocação das placas na bancada, na primeira semana de setembro de 2001, com leituras semanais ao longo de quatro meses, e com vistorias mensais até a presente data. Neste período foram solicitados ao Instituto de Pesquisas Meteorológicas de Bauru- IPMet os dados de precipitações do município (Anexo V), observando-se que os meses de outubro/2001 a fevereiro/2002 foram os meses com maiores índices pluviométricos (Gráfico 03), período em que foram efetuadas as leituras semanais dos experimentos.

Gráfico 03- Precipitações mensais (mm) da cidade de Bauru, coletadas no IPMet.

A escolha das medições semanais em um período com maior quantidade de chuva, foi justamente fixado para posterior comparação com os

ensaios espanhóis de ROMERAL et al (1986) e DIAZ (1987), os quais foram desenvolvidos também em um período com grande precipitação pluviométrica da região.

Semanalmente, foram anotadas todas as mudanças ocorridas nos corpos-de-prova; além da temperatura média no dia da coleta de dados. Foram utilizadas as seguintes nomenclaturas:

SA - sem alteração;

A - alteração rude nas placas como quebras dos cantos;

f - presença de fissuras ao longo das placas;

IA - início das alterações com pontos de vazios (retirada do solo);

DP - desagregação parcial com as bordas corroídas, mudando o formato inicial da placas e DT - desagregação total.

Figura 101- Início do ensaio de intemperismo (set/2001).

Figura 102- Um mês de exposição das placas.

Figura 103- Dois meses de exposição das placas.

Figura 104- Três meses de exposição das placas.

Figura 105- Quatro meses de exposição das placas.

Figura 106- Um ano de exposição da bancada de intemperismo (set/2002).

Nas primeiras três semanas os corpos-de-prova permaneceram intactos aos agentes climáticos. Na quarta semana os corpos-de-prova com maiores porcentagens de resíduos (40%) apresentaram pontos de vazios nas placas (presença de pontos com porosidade) e, também, uma significativa mudança de cor, tornando-se mais esbranquiçados (Figura 107), enquanto que os outros traços permaneceram intactos.

O traço contendo 0% de resíduo destacou-se negativamente, pois já na quarta semana, com os ciclos de calor, frio e chuva, iniciaram-se as alterações, registrando-se a perda de material em dois corpos-de-prova. Após três meses, os corpos-de-prova do referido traço já estavam parcialmente desagregados e, com 4 meses, totalmente desagregados, que pode ser visualizado na seqüência das Figuras 104 a 106 e também, com detalhe, na Figura 108. O pior efeito para os corpos-de-prova foi provocado pela umidade, isto é, a desagregação parcial e total ocorreu em dias de intensa chuva e de granizo.

Figura 107- Detalhe da cor esbranquiçada na placa do traço 40%.

Figura 108- Detalhe das placas de barro do traço 0%, corroídas com três meses.

Deste ensaio pode-se concluir que a adição de resíduo, mesmo que em pequena porcentagem, desempenhou um papel fundamental, evitando a desagregação rápida e total das placas, como observado no traço 0%. Outro aspecto importante a levar em consideração está relacionado aos traços elevados de resíduo (40% e 50%), os quais comportaram-se também negativamente, pois já na quarta semana estavam esbranquiçados. Com o passar dos meses ocorreu o aparecimento de microfissuras e posteriormente, bolores (Figura 106), perdendo a cor marrom característica do adobe.

Foram observadas também, aos quatro meses de ensaio, algumas quebras nos cantos dos corpos-de-prova de traços 15%, 20% e 30%, o que pode ter sido ocasionado não só pelos agentes do clima, mas também devido a terceiros

(curiosidade ou vandalismo). Os traços 20%, 25% e 30% comportaram-se de maneira análoga e diferenciaram-se dos demais positivamente, pelo fato de somente no início do terceiro mês apresentarem pequenas alterações (Figuras 109 e 110). Com um ano de exposição (Figura 106) as placas permaneceram praticamente intactas.

Figura 109- Detalhe das placas de barro do traço 20%, no terceiro mês de exposição ao tempo.

Figura 110- Detalhe das placas dos traços 25% e 30% no terceiro mês de exposição ao tempo.

Nas Tabelas 19 e 20 são apresentados os registros semanais da evolução das placas frente à ação do clima, como também a temperatura e a presença ou não de chuvas, demonstrando que os traços intermediários (20%, 25% e 30%) foram os que melhores resistiram ao intemperismo, com o início das alterações no terceiro mês, perdendo material (solo) em alguns pontos mas, até na última leitura (setembro de 2002) apresentaram praticamente as mesmas características iniciais.

No ensaio com as bandejas espanholas de ROMERAL et al. (1986) e DIAZ (1987), as placas sem estabilizantes chegaram a uma desagregação total com apenas 10 dias (coincidentemente com dias de muita chuva), enquanto que os outros traços com estabilizantes nas misturas (do tipo cimento e cal) duraram mais de quatro meses.

Resultados e discussões

Tabela 19- Ensaio de intemperismo (comportamento das placas de barro dos traços de 0%, 10%, 15% e 20% ao longo de 4 meses).

Início 06/set Datas	T °C	TRAÇO 0%			TRAÇO 10%			TRAÇO 15%			TRAÇO 20%		
		CP A	CP B	CP C	CP A	CP B	CP C	CP A	CP B	CP C	CP A	CP B	CP C
♦13/9/2001	28	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
21/9/2001	23	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
♦28/9/2001	32	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
♦5/10/2001	29	IA	IA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
♦♦12/10/2001	30	DP	DP	DP	IA	SA	SA	A	SA	SA	SA	SA	SA
♦19/10/2001	25	DP	DP	DP	IA	SA	IA	DP	IA	IA	SA	SA	SA
♦♦26/10/2001	32	DP	DP	DP	IA	SA	DP	DP	IA	DP	SA	SA	SA
2/11/2001	33	DP	DP	DP	IA	IA	DP	DP-A	IA	DP	SA	SA	SA
9/11/2001	32	DP	DP	DP	DP	IA	DP	DP	IA	DP	IA	IA	A-f
♦14/11/2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
♦23/11/2001	32	DT	DP	DP	DP	DP	DP	A-DP-f	IA	DP	IA	IA	A-f
30/11/2001	23	DT	DT	DP	DP	DP	DP	A-DP-f	IA	DP	IA	IA	A-f
♦♦07/12/2001	24	DT	DT	DP	DP	DP	DP	A-DP-f	IA	DP	IA	IA	A-f
♦♦14/12/2001	23	DT	DT	DP	DP	DP	DP	A-DP-f	IA	DP	IA	IA	A-f
♦♦20/12/2001	31	DT	DT	DP	DP	DP-f	DP	A-DP-f	DP	DP	IA	IA	A-f
♦♦28/12/2001	29	DT	DT	DP	DP	DP	DP	A-DP-f	DP	DP	IA	IA	A-f
♦03/01/2002	32	DT	DT	DP	DP	DP	DP	A-DP-f	DP	DP	DP	DP	A-f
♦11/01/2002	28	DT	DT	DT	DP	DP	DP	A-DP-f	DP	DP	DP	DP	A-f
♦20/01/2002	29	DT	DT	DT	DP	DP	DP	DT	DP	DP	DP	DP	A-f
♦♦01/02/2002	30	DT	DT	DT	DT	DP	DP	DT	DP	DP	DP	DP	A-f
♦01/03/2002	31	DT	DT	DT	DT	DP	DP	DT	DP	DP	DP	DP	A-f

A- Alteração rude nas placas – quebras dos cantos

S A- Sem Alteração

f- Fissuras ao longo das placas

IA- Início das alterações com pontos de vazios (retirada do solo)

DP- Desagregação parcial com bordas corroídas, mudando o formato inicial da placas

DT- Desagregação Total

b- presença de pontos com bolor (pontos pretos)

* - corpo-de-prova mudando de cor, passando a ficar esbranquiçado

♦ - ocorrência de chuvas leves ao longo da semana

♦♦ - ocorrência de muita chuva (torrenciais e de granizo) na semana

Resultados e discussões

Tabela 20- Ensaio de intemperismo (comportamento das placas de barro dos traços de 25%, 30%, 40% e 50%).

Início 06/set Datas	T °C	TRAÇO 25%			TRAÇO 30%			TRAÇO 40%			TRAÇO 50%		
		CP A	CP B	CP C	CP A	CP B	CP C	CP A	CP B	CP C	CP A	CP B	CP C
♦ 13/9/2001	28	SA	SA	SA	SA	SA	-	SA	SA	SA	SA	SA	SA
21/9/2001	23	SA	SA	SA	SA	SA	-	SA	SA	SA	SA	SA	SA
♦ 28/9/2001	32	SA	SA	SA	SA	SA	-	SA	SA	SA	SA	SA	SA
♦ 5/10/2001	29	SA	SA	SA	SA	SA	-	SA	IA	IA	IA	IA	IA
♦ ♦ 12/10/2001	30	SA	SA	SA	SA	SA	-	IA	IA-f	IA	IA	f	f
♦ 19/10/2001	25	SA	SA	SA	SA	SA	-	IA	IA-f	IA	f	f	f*
♦ ♦ 26/10/2001	32	SA	SA	SA	SA	SA	-	IA	IA-f	IA	f	f	f*
2/11/2001	33	SA	SA	SA	SA	SA	-	IA	IA-f	IA	f*	f	f*
9/11/2001	32	IA	SA	SA	SA	SA	-	DP	IA-f	IA-f	f*	f	f*
♦ 14/11/2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
♦ 23/11/2001	32	IA	SA	SA	IA	SA	-	IA	IA-f	IA-f	f*	f	f*
30/11/2001	23	IA	IA	IA	IA	SA	-	IA-f	IA-f	IA-f	IA-f*	IA-f	IA-f*
♦ ♦ 07/12/2001	24	IA	IA	IA	IA	SA	-	IA-f	IA-f	IA-f	IA-f*	IA-f*	IA-f*
♦ ♦ 14/12/2001	23	IA	IA	IA	IA	SA	-	IA-f	IA-f	IA-f*	IA-f*	IA-f*	IA-f**
♦ ♦ 20/12/2001	31	IA	IA	IA	IA	IA	-	IA-f	IA-f*	IA-f*	IA-f*	IA-f*	IA-f**
♦ ♦ 28/12/2001	29	IA	IA	IA	IA-f	IA	-	IA-f	IA-f*	IA-f*	IA-f*	IA-f*	IA-f**
♦ 03/01/2002	32	IA	IA	IA	IA-f	IA	-	IA-f	IA-f*	IA-f*	IA-f*	IA-f*	IA-f**
♦ 11/01/2002	28	IA	IA	IA	IA-f	IA	-	IA-f	IA-f*	IA-f*	IA-f*	IA-f*	IA-f**
♦ 20/01/2002	29	IA	IA	IA	IA-f	IA	-	IA-f	IA-f*	IA-f*	IA-f*	IA-f*	IA-f**
♦ ♦ 01/02/2002	30	IA	IA	IA	IA-f	IA	-	IA-f*	IA-f*	IA-f*	IA-f*	IA-f**	IA-f**
♦ 01/03/2002	31	IA	IA	IA	IA-f	IA	-	IA-f*	IA-f*	IA-f*	IA-f*	IA-f**	IA-f**b

A- Alteração rude nas placas – quebras dos cantos

SA- Sem Alteração

f- Fissuras ao longo das placas

IA- Início das alterações com pontos de vazios (retirada do solo)

DP- Desagregação parcial com bordas corroidas, mudando o formato inicial da placas

DT- Desagregação Total

b- presença de pontos com bolor (pontos pretos)

* - corpo-de-prova mudando de cor, passando a ficar esbranquiçado

♦ - ocorrência de chuvas leves ao longo da semana

♦ ♦ - ocorrência de muita chuva (torrenciais e de granizo) na semana

Para comparar intuitivamente a ação dos agentes atmosféricos nos próprios tijolos (sem a simulação de um experimento baseado em normas específicas), foi construída uma bancada horizontal e, colocado sob essa, amostras de tijolos de diferentes traços. Os tijolos foram expostos no dia 1º de novembro de 2001 e após um mês foi realizada a primeira vistoria, constatando-se a fragilidade dos tijolos do traço 0% que já estavam desfeitos parcialmente (Figura 111 e 112). A sequência das degradações dos tijolos, durante o primeiro semestre de 2002, está ilustrada nas Figuras de 112 a 117.

A Figura 118 apresenta as características dos tijolos com 10 meses de exposição à ação do tempo, sendo que do traço 0% não sobrou nenhum tijolo e os traços 30% e 40% (principalmente) apresentaram bolores em várias amostras. Os tijolos com melhor desempenho nesses 10 meses foram aqueles confeccionados nos traços 20% e 25%.

Figura 111- Vista geral da bancada com os tijolos, com um mês de exposição.

Figura 112- Detalhe dos tijolos de traço 0% desfeitos, parcialmente, após um mês de exposição.

Figura 113- Bancada com 2 meses de exposição.

Figura 114- Bancada com 3 meses de exposição.

Figura 115- Bancada com 4 meses de exposição.

Figura 116- Bancada com 5 meses de exposição.

Figura 117- Bancada com 6 meses de exposição.

Figura 118- Bancada com 10 meses de exposição (set/2002).

A conclusão do trabalho de DIAZ (1997) foi constatada visualmente nas vistorias mensais dos tijolos. O pesquisador comenta da grande viabilidade de utilização das obras em terra crua, mas chama a atenção para certas precauções que devem ser tomadas do ponto de vista arquitetônico e cita, como exemplo, o uso de beirais largos e de fundações impermeabilizadas, com sistemas de drenagem, para evitar a ação da umidade e percolação de água na edificação, como também a ação da erosão (pelos ventos), causando a perda de material. Segundo o autor, esses simples cuidados como “Um bom par de botas e um chapéu com abas largas”, aumenta a vida útil das construções, garantindo a estanqueidade das obras em terra crua.

6.6.4- Ensaio de perda de massa (Tubo de Fogo)

Para a realização deste ensaio, produziram-se inicialmente 4 corpos-de-prova (CP) de cada traço, nas dimensões (2 x 2 x 100) cm. Devido ao longo comprimento dos CP em relação à seção transversal, todos fissuraram e se quebravam na fase de desforma. Seguindo as orientações de AGUILLAR FILHO (1986) para a confecção dos CP com pedaços em madeira, tentou-se unir as partes com grampos. Os testes demonstraram a impossibilidade de conseguir uma união perfeita e uniforme, pois as barras eram muito finas. Optou-se, então, pela confecção de novos CP com a introdução de uma barra de ferro retorcido (ferro rosca) ao longo de todo o seu comprimento (Figura 119).

Figura 119- Exemplo de barras prontas com o ferro retorcido no meio.

Figura 120- Equipamento utilizado no ensaio do Tubo de Fogo com detalhe, ao lado, do aparelho HP/3478 A usado para medir a temperatura.

Nos testes preliminares foi constatada a obtenção de temperaturas elevadas, verificadas na parte superior do tubo, inviabilizando, assim, o uso direto de termômetros. Desta forma, foram instalados a 2,5 cm do topo do tubo dois termopares ligados ao aparelho eletrônico de medição Hewlett Packard – HP/3478A (Figura 120) cujas medidas eram obtidas em microvolts. Para a obtenção da temperatura em graus Celsius foi necessário a utilização de uma tabela de conversão internacional intitulada 'Internationale Grundwertreihen fur Thermoelemente'.

Outro problema, também verificado foi a perda de corpos-de-prova prontos, que após a secagem completa, na fase de desmoldagem, perderam-se

alguns devido às quebras (bem menos que na fase anterior), como também a perda de barras já prontas durante a realização do ensaio (dentro do tubo), onde estas caíam e quebravam-se totalmente.

No início dos testes foi observado o travamento constante do ponteiro que marcava a perda de massa dos corpos-de-prova (Figura 121), optando, assim, pelo reinício dos ensaios, com uma nova calibração e lubrificação da máquina, como também a pesagem inicial (antes da queima) e final (depois da queima) dos corpos-de-prova, conforme Figuras 122 e 123.

Figura 121- Detalhe do ponteiro marcador de perda de massa.

Figura 122- Pesagem inicial das barras, antes de serem ensaiadas.

Figura 123- Barras ensaiadas aguardando a pesagem final.

Com estas modificações foram introduzidas no ensaio três novas constantes, sendo mV para a leitura no termopar de frequência em microvolts, P_i o peso inicial da barra e P_f o peso final da barra depois de ensaiadas. Nas tabelas de A-29 a A-35, do Anexo III, estão plotados os valores das perdas de massas dos CP (corpos-de-prova) de diferentes traços, como também as temperaturas já convertidas.

Com o objetivo de facilitar as comparações inseriu-se, neste item, a Tabela A-36, a qual foi elaborado a partir do trabalho de AGUILLAR FILHO (1986), que realizou este mesmo ensaio com 4 barras de Peroba Rosa (sem tratamento químico aplicado). Foi também inserida a Tabela A-37, que se refere aos valores

obtidos no trabalho de NOLASCO (1993), com compósitos de cimento e fibra de celulose e papel no traço 1:4.

A Tabela 21 resume os principais valores apresentados nas tabelas de A-29 a A-35, do Anexo III, ou seja:

Tabela 21- Resumo do ensaio do Tubo de Fogo com perdas de massa em porcentagens.

TRAÇOS (%)	Média das temperaturas máx alcançadas pelos 4 CP (°C)	Perda de Massa (%)	
		Observado no experimento	Calculado (diferença de massa)
0	511	8,33	4,6
10	460	9,70	4,3
15	517	9,70	4,2
20	574	9,50	4,1
25	623	9,80	5,1
30	631	12,30	6,2
40	716	11,90	11,3

Comparando as duas primeiras colunas da Tabela 21 observa-se que quanto maiores as porcentagens de resíduo na mistura mais altas são as temperaturas alcançadas. A última coluna apresenta a perda de massa por pesagens consecutivas (antes e depois das barras serem queimadas), verificando-se que nos traços 10%, 15% e 20% foram obtidos valores próximos a 4%.

A perda de massa relaciona-se diretamente com a quantidade de fibras existente na mistura, uma vez que aumentando o traço, aumenta também a perda (colunas 1 com 3 e 4).

Comparando os dados das perdas de massa obtidas do ensaio e por pesagens (colunas 3 e 4), os valores não coincidiram pelos dois processos. Este fato pode ser justificado pelo ponteiro de marcação, que muitas vezes prendia-se durante o experimento. O equipamento utilizado para este ensaio foi construído no final do ano de 1986 e não houve, no decorrer destes anos, manutenções. Ainda em relação à perda de massa, o comportamento destas colunas foi análogo, com os traços 10%, 15%, 20% e 25% na mesma faixa de valores para a perda de massa e o traço 40% com valor maior.

Além de maior perda de massa, o traço 40% apresentou pior resultado durante a realização do ensaio, pois mesmo depois de apagar o bico de gás (4:00 minutos), o corpo-de-prova continuou pegando fogo e expelindo fumaça.

Analisando os dados da Tabela A-36, do Anexo III (Peroba Rosa), em comparação com os valores resumidos da Tabela 21, pode-se observar, inicialmente, que o maior valor de perda de massa foi para o traço 40% (maior

quantidade de resíduo com $Pd \approx 11,9 \%$), que ficou bem abaixo dos valores encontrados para a madeira ($Pd \approx 94,0\%$). Em relação às temperaturas, a madeira chegou a alcançar uma temperatura máxima de 841°C , enquanto que o traço 40% de resíduo alcançou 716°C . Analisando os dados de NOLASCO (1993) da tabela A-37, do Anexo III, as placas de cimento e resíduo (1:4) apresentaram uma perda de massa máxima de 8% e alcançaram temperaturas máximas de 169°C , valores estes bem inferiores aos encontrados no traço 40%.

Em relação à perda de massa, foi constatado que a partir do momento que se desligava o gás, os valores tendiam a uma estabilização, aumentando-se no máximo 2%, valores estes bem diferentes aos apresentados na Tabela A-36, cujo filete de madeira peroba rosa, mesmo com o queimador apagado, ainda permanecia queimando-se, chegando a perder, até 43% de massa.

6.6.5- Ensaio de propagação das chamas (Schlyter Modificado)

Para este ensaio, também conhecido como teste de flamabilidade, foram confeccionadas 2 placas de cada traço de solo e resíduo. Após dois meses, com as placas completamente secas, verificou-se o aparecimento de grandes fissuras, diminuindo-se de quantidade e espessura, na medida em que se aumentava a porcentagem de resíduo, demonstrando uma das vantagens do emprego do resíduo na mistura, com a função de ligamento (uma malha de fibras incorporada a mistura) conforme apresentado na Figura 124.

Figura 124- Confeção das primeiras placas de diferentes traços para o ensaio de Schlyter Modificado.

Seguindo os procedimentos apresentados em AGUILLAR FILHO (1986), tentou-se grampear as placas, mas não houve êxito no grampeamento, pois estas

permaneciam sem estabilidade suficiente para serem colocadas na vertical dentro do equipamento de ensaio. Optou-se, então, pela dissolução das placas e o reaproveitamento do barro na confecção de novas placas, só que inserindo durante a moldagem uma tela fina bem no meio das placas, conforme ilustra a Figura 125.

Outra característica observada foi a menor presença de fissuras nas placas dos traços 40% e 50% (com e sem tela), conforme apresentado na Figura 126, e também a cor esbranquiçada nas placas de traço 50%. O número e o tamanho das fissuras diminuíram nitidamente, com o aumento sucessivo do resíduo na mistura. O traço 50% de resíduo não foi ensaiado, sendo somente confeccionado para verificação da existência ou não de fissuras.

Figura 125- Detalhe da tela usada nas placas de barro.

Figura 126- Detalhe da ausência de fissuras nas placas de traços 40% e 50% (com e sem a colocação das telas).

Nos ensaios preliminares foi difícil obter leituras exatas das alturas das chamas, uma vez que estas, em um mesmo instante, se comportavam de forma instável, com valores sempre crescentes, mas oscilando muito na vertical. Assim, introduziu-se no equipamento mais uma régua graduada e duas leituras foram realizadas (h_1 e h_2), em um mesmo instante, calculando posteriormente a média (h_m).

Após a queima das placas, a marca escura foi lida no momento do desligamento do bico de gás (h_i) e depois de esfriada (h_f). Foram anotados os tamanhos das manchas após o esfriamento das placas, verificando-se a mudança de coloração, da cor preta para a cor característica das placas (marrom). Também foi observado que as placas com maiores porcentagens de resíduo apresentavam uma coloração mais escura da mancha queimada.

No traço 0% a chama propagou-se constantemente de forma crescente, enquanto que no traço 10% a chama permaneceu instável, mas sempre variando à uma altura próxima de 65 cm. Verificou-se nos dois traços o cessar instantâneo das chamas no momento que se apagava o queimador observando-se também um

vapor quente saindo das placas de traço 10%. Já as placas de traços 30% e 40% permaneceram expelindo muita fumaça, mesmo após o término da queima.

Outro fato que merece destaque está relacionado com o traço 40%, na qual uma das placas, a 3 minutos de ensaio, ficou bem marcada na base com uma mancha da cor laranja, e quando foi esfriando-se ia transformando-se em um carvão, conforme Figura 127.

Figura 127- Detalhe da placa do traço 40 %, após o ensaio.

As Figuras de 128 a 134 ilustram as placas de diferentes traços antes e depois de serem ensaiadas.

Figura 128- Placas do traço 0% antes e depois de ensaiadas.

Figura 129- Placas do traço 10% antes e depois de ensaiadas.

Figura 130- Placas do traço 15% antes e depois de ensaiadas.

Figura 131- Placas do traço 20% antes e depois de ensaiadas.

Figura 132- Placas do traço 25% antes e depois de ensaiadas.

Figura 133- Placas do traço 30% antes e depois de ensaiadas.

Figura 134- Placas do traço 40% antes e depois de ensaiadas.

Nas tabelas de A-23 a A-26, do Anexo III, estão apresentados os resultados da propagação das chamas nos diversos traços. Visando parâmetros de comparação, inseriram-se duas novas tabelas (Tabelas A-27 e A-28), que foram obtidas nos ensaios realizados por AGUILLAR FILHO (1986), com madeiras do tipo Peroba Rosa e Ipê, sendo os corpos-de-prova de números 1 a 4 não tratados e os corpos-de-prova de números 5 a 8 pintados com duas demãos de produto antinflama para madeiras.

As nomenclaturas utilizadas neste ensaio estão especificadas no final das tabelas (A-23 a A-26) e são análogas àquelas usadas em AGUILLAR FILHO (1986), só modificando a notação D, que tem o significado de duração da fumaça (em segundos) após desligar o queimador. Para todos os traços, quando se

desligava o bico de gás, a chama já se extinguia, permanecendo em alguns traços somente a fumaça.

Fazendo uma análise geral dos resultados obtidos da propagação superficial de chamas para todos os traços pode-se concluir, inicialmente, que as placas mostraram um excelente comportamento, uma vez que retirando a fonte de calor imediatamente a chama se extinguia. Isto já não ocorreu com as placas de madeira (Tabelas A-27 e A-28), as quais continuavam queimando por mais uns 26 segundos. Por outro lado, os traços de 30% e 40% de resíduo podem ser descartados devido ao fato destes permaneceram expelindo fumaça mesmo após o queimador ter sido desligado (80 segundos para o traço 30% e 100 segundos para o traço 40%).

De maneira a facilitar a análise dos dados deste ensaio elaborou-se uma nova tabela (Tabela 22), contendo um resumo dos principais dados.

Tabela 22- Resumo dos resultados do Ensaio de Schlyter Modificado para os diversos traços.

TRAÇO %	h_i (cm)	h_f (cm)	Propagação da chama (cm)	$h_{m\acute{a}x}$ (cm)
0	31,5	26,5	16,0	82,0
10	37,0	31,0	0,0	68,0
15	41,3	35,7	29,5	95,5
20	36,5	32,0	12,0	75,0
25	35,5	32,5	6,5	71,5
30	54,5	43,8	34,0	105,0
40	45,0	38,5	30,0	94,0

Comparando o traço 30%, que obteve neste ensaio o maior valor da altura da chama (a um tempo de 3 minutos), com $h_{med} = 105,0$ cm, com as madeiras de Peroba Rosa e Ipê sem tratamento (no mesmo instante), a altura permaneceu com valores em torno de 150 cm e 129 cm, respectivamente. Comparando-se ainda os dados destas madeiras com tratamentos antilama (valores iguais a 135 cm e 127 cm), todos os dados estão bem acima aos encontrados nas placas de solo e resíduo.

Analisando a Tabela 22 nota-se o comportamento análogo das colunas de propagação das chamas e altura máxima das chamas (colunas 04 e 05), com os valores máximos, nos dois casos, para os traços 30% e 40%. Outra característica observada nesta tabela, está relacionado aos valores medidos das alturas das

chamas nas placas, no instante que se retira o queimador e depois de esfriadas (h_i e h_f) para os traços 10%, 20% e 25%, no qual obtiveram-se valores bem próximos ($h_i \approx 36,5$ cm e $h_f \approx 32,0$ cm) e menores que os traços 30% ($h_i = 54,5$ cm e $h_f = 43,8$ cm) e 40% ($h_i = 45,0$ cm e $h_f = 38,5$ cm). Quanto ao traço 15%, não existe justificativa para o aumento de h_i , h_f e h_{med} , verificando-se a necessidade de repetição do ensaio para este traço devido à diferença de valores em relação aos traços 10%, 20% e 25%. Assim sendo, por este ensaio seriam descartados os traços de 30% e 40% de resíduo na mistura e repetido o experimento para o traço 15%.

6.6.6- Ensaio de Incombustibilidade

Em função dos equipamentos sofisticados, usados neste ensaio, optou-se pela contratação dos serviços do Laboratório de Segurança ao Fogo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Como para cada traço era exigido laudo individual, que somente era emitido mediante o pagamento antecipado, foi então realizado um acordo entre as universidades e a prestadora de serviço (IPT), que somente seria enviado o laudo do traço que gerasse material combustível. Inicialmente foram enviados traços com as maiores porcentagens de resíduo (40% e 30%). Ambos deram combustíveis, e então novamente foram enviados corpos-de-prova dos traços 20% e 10%. Resumindo, todos os traços deram combustíveis, não pela perda de massa (bem menores que 50%) ou mesmo as grandes temperaturas alcançadas que foram todas inferiores a 50°C, mas sim pela continuidade das chamas, que após o desligamento do aparelho, o tempo de chamejamento excedeu a 150 segundos.

Para um material ser considerado incombustível ele deve contemplar os três critérios. Portanto, todos os traços com a presença da celulose e papel nas misturas deram combustíveis. As Figuras de 135 a 137 representam as etapas de um corpo-de-prova sendo ensaiado e o Anexo VI mostra o laudo técnico do traço 10% fornecido pelo Laboratório de Segurança ao Fogo - IPT. Analisando este laudo tem-se:

- Perda de massa: 4,2% (inferior a 50%);
- Maior média de temperatura alcançada: 15 °C (inferior a 50 °C);
- Tempo de chamejamento: 164 seg. (superior a 20 seg.), e portanto:
- Classificação: **Material Combustível**

Figura 135- Detalhe do corpo-de-prova (solo e resíduo) sendo preparado para ser ensaiado.

Figura 136- Corpo-de-prova introduzido no equipamento.

Figura 137- Vista superior do equipamento com detalhe do fogo no seu interior.

7- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste início de século, pode-se prever claramente o futuro de sucesso das empresas que investiram na implantação das metas do desenvolvimento sustentável e que propuserem, constantemente, programas de redução de desperdício, produção de materiais com maior conteúdo de reciclados e, se possível, até com o aumento de sua durabilidade, bem como, a elaboração e aplicação de novos projetos, com equipamentos e produtos que se utilizem, de forma racional, a água e a energia (logicamente que explorando comercialmente estes benefícios ambientais).

Vários autores, como CINCOTTO (1988), AGOPYAN (1991), AGOPYAN & SAVASTANO JR (1998) e JOHN (2001) citam que o mercado da construção civil se utiliza de uma variedade de materiais, tendo um grande potencial para reciclar seus próprios resíduos e incorporar resíduos de diferentes indústrias. Esta reciclagem é uma das maneiras deste setor contribuir na redução de seu significativo impacto ambiental.

Vinculado à construção civil e ao objetivo principal desta pesquisa, surgem alguns questionamentos, como por exemplo: "O resíduo proveniente da indústria de celulose e papel é tóxico ou não? Caso o resíduo seja não tóxico, ele pode ser incorporado a uma das técnicas de se construir, ou seja, seu encapsulamento em tijolos de adobe?"

Para responder a estas duas dúvidas, inicialmente foi realizada a análise química do resíduo, constatando que o mesmo era composto de vários elementos com predominância do cálcio e magnésio (Tabela 08). Os dados desta tabela foram comparados aos estipulados nas normas NBR (10.005 e 10.006) e, assim, classificados como Classe II, com um posicionamento intermediário dentro das categorias dos resíduos. Em uma segunda etapa foram realizadas análises toxicológicas do resíduo, e do líquido coletado no ensaio de gotejamento, cujos resultados caracterizaram as amostras como sendo não tóxicas. Assim, concluiu-se pela possibilidade do seu emprego como materiais de construção.

Partindo do pressuposto da não toxicidade, passou-se para a verificação da sua incorporação, ou não, no solo arenoso do município de Bauru (SP), para posterior fabricação de tijolos de adobe.

Para responder a este questionamento, independentemente dos resultados obtidos nos vários ensaios, foi verificada a viabilidade da utilização do

resíduo tanto em aparência, como em relação a trabalhabilidade com o barro (solo e resíduo). Nas misturas preliminares verificou-se que uma grande porcentagem de resíduo no barro gerava odores desagradáveis, enquanto o barro estava úmido, desaparecendo quando este se secava.

No que se refere a trabalhabilidade, verificou-se que os tijolos somente de terra (solo arenoso) apresentaram maiores dificuldades para serem manuseados, moldados e desmoldados. Os tijolos com a presença de resíduo resultavam em misturas com mais “liga” e retraíam-se menos quando secas, desgrudando-se com maior facilidade das fôrmas, sem quebras ou esfarelamento de suas bordas. Este fato foi comentado no trabalho de DIAZ (1987), no qual o autor cita algumas vantagens da utilização de estabilizantes naturais, como o caso das fibras vegetais, por estas reduzirem, significativamente, os efeitos de retrações e, principalmente, fissurações.

Uma vez que é possível fabricar tijolos de adobe misturando o solo e o resíduo de celulose e papel, surgiu o terceiro questionamento: qual era o melhor traço. Para responder a esta pergunta foram realizados vários ensaios, obtendo-se em cada um, características positivas em relação a um ou mais traços, ou seja:

- No ensaio de **absorção de água** verificou-se uma característica positiva na introdução do resíduo, pois o mesmo trabalha como estabilizante, não permitindo o desmanche dos tijolos quando submersos. O traço 0% foi ensaiado duas vezes e em ambas as tentativas desagregaram-se totalmente. Os demais traços permaneceram intactos, podendo ser pesados e completados os experimentos com sucesso.

- Na análise das **massas específicas** dos tijolos (Tabelas A-02 a A-08) observou-se que a introdução do resíduo nos diferentes traços fez decrescer a massa dos tijolos devido à introdução de vazios nas misturas. Este fator é importante pois permitirá a utilização dos tijolos em painéis de vedação, com o emprego de estruturas de apoio (vigas e pilares) de menores dimensões.

- Em relação ao ensaio de **resistência à compressão** apresentados nas Tabelas A-09 a A-15, pode-se afirmar que a introdução do resíduo nos diferentes traços fez decrescer a resistência. A diminuição de resistência dos tijolos de adobe, vinculado a maior presença de fibras no barro, também foi observada no trabalho de MINKE (2001), o que, segundo o autor, pode estar relacionado ao tamanho das fibras introduzidas na mistura. Nos traços 15% e 25%, fabricados no segundo semestre de 2001, obtiveram-se valores de resistência próximos, com

pouca diferença em relação à resistência obtida no traço 20%. O que deve ser destacado neste ensaio é que o maior valor de resistência foi encontrado no traço sem resíduo (traço 0% $\Rightarrow f_{ck}=1,17$ MPa), embora os traços 10%, 15%, 20% e 25% tenham tido f_{ck} próximos a 1,0 MPa, valor este estipulado pela norma NBR 7171/92 como nível de resistência para os blocos cerâmicos empregados em paredes de vedação.

- Do ensaio de **condutividade acústico** (Tabela 14), observou-se que o aumento de resíduo nos diferentes traços reduziu gradativamente os valores do isolamento acústico. Assim, o desempenho acústico do tijolo foi proporcional a sua massa, com os traços 10%, 15% e 20% apresentando valores de isolamento próximos a 6 dB, sendo então os escolhidos.

- Com os resultados obtidos do ensaio de **condutividade térmica** (Tabela 15), verificou-se que o aumento de resíduo fez decrescer os valores de condutividade, isto é, o aumento de resíduo nas misturas fez aumentar o isolamento térmico do material. Desta forma, por este ensaio, o traço 40% seria o escolhido com o valor numérico de melhor isolamento térmico.

- Do ensaio de **retração**, com os valores apresentados na Tabela 17, verificou-se que todos os traços são aceitos pela norma de solo-cimento (ABCP, 1986), com retrações inferiores a 2,0 cm.

- Quanto ao ensaio de **gotejamento**, a introdução do resíduo fez aumentar, sucessivamente, o tempo de interpolação da água nas placas, aumentando o tempo para ocorrer a perfuração total (de 3 min. encontrados no traço 0% para 8,67 min. no traço 30%). Por outro lado, a quantidade maior de resíduo encontrado no traço 40% também fez decrescer o tempo médio para 6 min. Assim, os melhores comportamentos ficaram para os traços intermediários, isto é, traços 20%, 25% e 30%, com um tempo médio de perfuração de 8 minutos.

- No ensaio de **intemperismo** pode ser verificada a característica fundamental do resíduo na mistura: sua durabilidade. Este ensaio, que deveria ter um período de duração de quatro meses, ainda se encontra montado e com a continuidade das leituras. Nestes meses, apesar de intensa precipitação, verificou-se que nas placas dos traços 20%, 25% e 30% permaneceram praticamente intactas, não mudando suas colorações, apresentando apenas alguns pontos de desgastes (correspondente a perda de solo e não de resíduo), enquanto que as placas do traço 0% já estavam desfeitas no início do segundo mês. Devido ao problema de perda de solo em alguns pontos, sugere-se o seu emprego em

ambientes internos ou em paredes externas com posterior aplicação de reboco (com o próprio barro) ou mesmo o uso de impermeabilizantes, e com manutenções constantes.

- Do ensaio de **perda de massa** (Tabela 21), conclui-se que as perdas de peso das barras de adobe, sob ação do fogo, estão relacionadas diretamente com a quantidade de fibras existentes em cada mistura, uma vez que aumentando o traço aumenta-se também a perda. Assim, os melhores traços seriam aqueles com porcentagens menores de resíduo.

- Através dos valores obtidos no ensaio de **Schlyter Modificado** (Tabela 22), podem ser descartados os traços com 30% e 40% de resíduo na mistura, pois ambos expeliram muita fumaça mesmo após o aparelho ser desligado. Outra característica observada na secagem das grandes placas confeccionadas para este experimento foi o aparecimento de fissuras, sendo que nos traços 0%, 10% e 15% observaram-se rachaduras completas, as quais diminuíram em quantidade e em espessura na medida em que se aumentou a porcentagem de resíduo, demonstrando mais uma das vantagens do emprego do resíduo na mistura, o qual trabalha como elemento de ligação.

- O laudo do ensaio de **incombustibilidade** de materiais de construção realizado no IPT (Anexo VI), foi o único teste que apresentou resultados negativos, uma vez que o material não atendeu aos três princípios fundamentais deste experimento, com um tempo médio de chamejamento (t_c) superior a 20 segundos, sendo para o traço 10%, com $t_c=164$ segundos. Portanto, mesmo sem apresentar os outros laudos, todos os tijolos de traços (15%, 20%, 25%, 30% e 40%) foram classificados como combustíveis, restando apenas testar o traço 0% sem resíduo, para certificar-se qual seria o tempo de chamejamento só com o corpo-de-prova composto de terra (solo).

Finalizando, após o estudo das características do lodo residual de celulose e papel (análise química e toxicológica), a realização de onze ensaios (retração, umidade de equilíbrio ao ar, absorção de água, resistência a compressão simples, gotejamento, intemperismo, flamabilidade e incombustibilidade do material, perda de massa, condutividade térmica e acústica), chegou-se a conclusão de três características fundamentais deste componente em terra crua (solo e resíduo): a durabilidade, trabalhabilidade e componente estabilizador (elemento de ligação), escolhendo o traço de 20% a 25% (Figura 138) como os de melhores comportamentos, resultado da intersecção dos diferentes ensaios.

Figura 138- Intersecção dos dados obtidos nos diversos ensaios.

Outra observação que deve ser citada relaciona-se a este sistema construtivo que reduz custos e os gastos energéticos para a sua fabricação, porém demanda tempo e mão-de-obra. Nos tempos atuais, com o racionamento de energia, a escolha desta técnica torna-se plausível.

Como conclusão final, deve-se citar que esta pesquisa teve como objetivo resgatar o uso do adobe em edificações, testando também o encapsulamento do resíduo de celulose e papel na mistura, procurando minimizar os impactos causados pelo seu descarte em aterros sanitários.

Vale ressaltar que esta pesquisa não pretende sugerir o abandono do uso de outros materiais de construção, nem negar o grande desenvolvimento tecnológico dos diversos materiais, como o cimento e o aço, neste último século. O que se pretendeu foi abrir novas perspectivas para a construção de habitações populares, bem como procurar mais uma opção adequada para o uso do resíduo industrial proveniente da fabricação de celulose e papel, na perspectiva de reduzir o impacto causado pela sua deposição, demonstrando aqui a comprovação da sua viabilidade técnica de forma extremamente satisfatória.

ENSAIO DE GRANULOMETRIA

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

$U = \frac{(M_U - M_0)}{(M_0 - T)} \times 100\%$	Cápsula nº	13	103
	M _U (g)	73,58	79,12
	M ₀ (g)	73,35	78,92
	Tara (g)	21,26	29,68
	U (%)	0,44	0,40
U _{média} (%)		0,42	

PENEIRAMENTO FINO

Peneira nº	# (mm)	Massa seca (g)		% retida	% < #
		Retida	Passada		
16	1,20	0	0		100,00
30	0,60	0,07	0,07	0,08	99,92
40	0,42	4,6	4,67	5,21	94,79
50	0,30	14,58	19,25	21,48	78,52
100	0,15	49,32	68,57	76,51	23,49
200	0,075	7,12	75,69	84,46	15,54
fundo					

MASSAS (g) – Peneiramento fino e sedimentação

Peso amostra úmida (P _U)	90,00
Peso amostra seca P _S = P _U / (1+U)	89,62

PENEIRAMENTO GROSSO

Peneira nº	# (mm)	Massa seca (g)		% < #
		Retida	Passada	
	50			
	38			
	25			
	19			
	13,5			
	9,5			
4	4,8			
10	2,0			
fundo				

MASSAS (g) – Peneiramento grosso

a) amostra total úmida	
b) solo seco retido # 10	
c) solo úmido passado # 10 (a – b)	
d) solo seco passado # 10 (a – b)/(1+h)	
e) amostra total seca (b+d)	

SEDIMENTAÇÃO

Temperatura (°C)	Intervalo de tempo	Leitura (L)	Leitura corrigida (L _c)	Diâmetro do grão (Ø mm)	Q (% < Ø)	% < #
27	30 seg	10,5	9,08	0,0942	16,20	
27	1 min	9,0	7,58	0,0521	13,52	
27	2	8,2	6,78	0,0370	12,10	
27	4	8,0	6,58	0,0262	11,74	
27	8	7,0	5,58	0,0181	9,96	
27	15	7,1	5,68	0,0132	10,13	
27	30	7,0	5,58	0,0094	9,96	
27	1 h	7,0	5,58	0,0066	9,96	
27,5	2	6,2	4,93	0,0047	8,79	
29	4	5,5	4,69	0,0033	8,37	
31	8	5,0	4,89	0,0023	8,72	

Densidade dos grãos:

$$\delta = 2,890 \text{ g/cm}^3$$

Densímetro nº

Identificação da amostra:

Amostra 01

a (% passa # 10) = - %

Operador

Sr. Felisberto

data: 17/abril 2001

$$\text{Porcentagem } Q = a \frac{\delta}{(\delta - 1)} \frac{L_c}{P_s} = L_c$$

OBSERVAÇÕES:

.....

.....

ENSAIO DE GRANULOMETRIA

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

$U = \frac{(M_U - M_0)}{(M_0 - T)} \times 100\%$	Cápsula nº	13	103
	M_U (g)	73,58	79,12
	M_0 (g)	73,35	78,92
	Tara (g)	21,26	29,68
	U (%)	0,44	0,40
$U_{média}$ (%)		0,42	

PENEIRAMENTO FINO

Peneira nº	# (mm)	Massa seca (g)		% retida	% < #
		Retida	Passada		
16	1,20	0	0	0,00	100,00
30	0,60	0,03	0,03	0,03	99,97
40	0,42	3,69	3,72	4,14	95,86
50	0,30	12,14	15,86	17,69	82,31
100	0,15	46,92	62,76	70,04	29,96
200	0,075	9,73	72,51	80,90	19,10
fundo					

MASSAS (g) – Peneiramento fino e sedimentação

Peso amostra úmida (P_U)	90,00
Peso amostra seca $P_S = P_U / (1+U)$	89,62

PENEIRAMENTO GROSSO

Peneira nº	# (mm)	Massa seca (g)		% < #
		Retida	Passada	
	50			
	38			
	25			
	19			
	13,5			
	9,5			
4	4,8			
10	2,0			
fundo				

MASSAS (g) – Peneiramento grosso

- a) amostra total úmida _____
- b) solo seco retido # 10 _____
- c) solo úmido passado # 10 ($a - b$) _____
- d) solo seco passado # 10 ($(a - b) / (1+u)$) _____
- e) amostra total seca ($b+d$) _____

SEDIMENTAÇÃO

Temperatura (°C)	Intervalo de tempo	Leitura (L)	Leitura corrigida (L_c)	Diâmetro do grão (ϕ mm)	Q (% < ϕ)	% < #
27	30 seg	11,0	9,58	0,0939	17,09	
27	1 min	10,5	9,08	0,516	16,20	
27	2	10,0	8,58	0,366	15,31	
27	4	0,0	7,58	0,0261	13,52	
27	8	0,1	7,68	0,0179	13,70	
27	15	9,0	7,58	0,0131	13,52	
27	30	8,5	7,08	0,0093	12,63	
27	1 h	8,5	7,08	0,0066	12,63	
27,5	2	8,0	6,73	0,0046	12,00	
29	4	7,0	6,19	0,0032	11,04	
31	8	6,5	3,69	0,0023	11,04	

Densidade dos grãos:

$$\delta = 2,890 \text{ g/cm}^3$$

Densímetro nº

Identificação da amostra:

Amostra 02

a (% passa # 10) = - %

Operador

Sr. Felisberto

data: 17/abril 2001

$$\text{Porcentagem } Q = a \frac{\delta}{(\delta - 1)} \frac{L_c}{P_s} = L_c$$

OBSERVAÇÕES:

Boletim de Análise: 3076/01

Proposta Nº 1314/01

Amostra: LODO DA ETE

AEF 8120/01

Análise Solicitada: Caracterização de Resíduo segundo NBR 10004

Requerido por

VOTORANTIM Celulose e Papel S.A.
Rodovia General Euryale J. Zerbini, km 84
Jacareí – São Paulo

Realizado por

Bioagri Laboratórios Ltda – Divisão Ambiental
Travessa Caminho da Servidão, 201
Dois Córregos – Caixa Postal 573
Piracicaba/SP – CEP: 13420-750
Telefone: (19) 34174700
E-mail: dqm.bio@bioagri.com.br.
www.bioagri.com.br

Data de Entrega no Laboratório

13.09.01.

Data de Conclusão:

27.09.01.

Informações Gerais

- **Tipo de amostra:** Resíduo (Lodo da ETE)
- **Coletor:** Interessado
- **Data Coleta** 10.09.01
- **Solicitante:** Marcos José de Aquino
- **Tempo de retenção:** A amostra será mantida na BIOAGRI, por um período de 30 dias, obedecendo os critérios de preservação e estocagem, segundo as Normas Oficiais.
- **Metodologia:** As metodologias utilizadas pela BIOAGRI foram baseadas “SW 846-3050B (USEPA 1986, Test Method for Evaluating Solid Waste Report Number SW-846, Washington, DC” e as referências:
Norma NBR 10004 da ABNT - Classificação de Resíduos Sólidos
Norma NBR 10005 da ABNT - Ensaio de Lixiviação
Norma NBR 10006 da ABNT - Ensaio de Solubilização
Norma NBR 12988 da ABNT – Líquidos Livres
- **Garantia de Qualidade:** Todos os dados e observações apresentados neste boletim são um registro preciso e verdadeiro gerado durante a realização das análises e uma cópia será arquivada na Bioagri Laboratórios Ltda – Divisão de Química Ambiental, por um período de 5 anos.

Resultados Analíticos

Parâmetro	Identificação Bioagri			AEF 8120/01
	Identificação Cliente			LODO DA ETE
	Unidade	L.Q.	Valores Recomendados	Resultados Encontrados
1-SOLUBILIZADO				
Arsênio	mg/L	0,05	0,05	< LQ
Bário	mg/L	0,1	1,0	0,63
Cádmio	mg/L	0,001	0,005	< LQ
Chumbo	mg/L	0,05	0,05	< LQ
Cianetos	mg/L	0,1	0,1	< LQ
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	< LQ
Fenóis	mg/L	0,001	0,001	0,09
Fluoretos	mg/L	0,1	1,5	< LQ
Mercúrio	mg/L	0,001	0,001	< LQ
Nitratos	mg/L	0,1	10	3,20
Prata	mg/L	0,01	0,05	< LQ
Selênio	mg/L	0,01	0,01	< LQ
Alumínio	mg/L	0,05	0,2	0,21
Cloretos	mg/L	1,0	250,0	115
Cobre	mg/L	0,05	1,0	< LQ
Dureza	mg/L	1,0	500	250
Ferro	mg/L	0,05	0,3	0,77
Manganês	mg/L	0,05	0,1	2,02
Sódio	mg/L	0,5	200,0	79,6
Surfactantes	mg/L	0,05	0,2	0,09
Sulfatos	mg/L	1,0	400	40,0
Zinco	mg/L	0,05	5	< LQ
pH Inicial	N.A.	0,1	N.A.	8,0
pH Final	N.A.	0,1	N.A.	8,3
2-LIXIVIADO				
Arsênio	mg/L	0,05	5,0	< LQ
Bário	mg/L	0,1	100	0,47
Cádmio	mg/L	0,001	0,5	< LQ
Chumbo	mg/L	0,05	5,0	< LQ
Cromo Total	mg/L	0,05	5,0	< LQ
Fluoretos	mg/L	0,1	150,0	< LQ
Mercúrio	mg/L	0,001	0,1	< LQ
Prata	mg/L	0,01	5,0	< LQ
Selênio	mg/L	0,01	1,0	< LQ
pH Inicial	N.A.	0,1	N.A.	8,0
pH Final	N.A.	0,1	N.A.	4,7
Volume de Ácido Acético 0,5 N	mL	N.A.	Até 400	20
Tempo de Lixiviação	horas	N.A.	24-28	24

Parâmetro	Identificação Bioagri			AEF 8120/01
	Identificação Cliente			LODO DA ETE
	Unidade	L.Q.	Valores Recomendados	Resultados Encontrados
3-MASSA BRUTA				
Umidade	%	0,05	N.A	51,0
Berílio	mg/Kg	1,0	100	< LQ
Cromo VI	mg/Kg	1,0	100	< LQ
Mercúrio	mg/Kg	0,5	100	< LQ
Vanádio	mg/Kg	5,0	1000	5,95
Chumbo	mg/Kg	0,5	1000	2,63
Selênio	mg/Kg	0,5	100	< LQ
Arsênio	mg/Kg	0,5	1000	< LQ
Cianetos	mg/Kg	0,5	1000	< LQ
Fenóis	mg/Kg	0,5	10	5,73
Hidrocarb. Líquidos/Bombeáveis	%	0,05	5	< LQ
Óleos e Graxas	%	0,05	1	0,11
Cloretos	mg/Kg	5	N.A	Ausente
Sulfatos	mg/Kg	5	N.A	250
Potássio	mg/Kg	0,5	N.A	< LQ
Fósforo Total	mg/Kg	0,5	N.A	2400
Matéria Orgânica Total	%	0,05	N.A	20,8
Cinzas	%	0,05	N.A	6,0
Nitrogênio Total	%	0,05	N.A	2,18
Enxofre Total	%	0,05	N.A	< LQ

N.A.: Não Aplicável

L.Q.: Limite de Quantificação

< LQ : Menor que Limite de Quantificação

RESULTADOS

- ✓ Solubilizado - os parâmetros Fenol, Ferro, Manganês, ultrapassaram os limites máximos permitidos. Limites baseados na listagem No. 8 da ABNT NBR 10.004.
- ✓ Lixiviado - os parâmetros não ultrapassaram os limites máximos permitidos. Limites baseados na listagem No. 7 da ABNT NBR 10.004.
- ✓ Massa Bruta - os parâmetros não ultrapassaram os limites máximos permitidos. Limites baseados na listagem No. 9 da ABNT NBR 10.004.

CONCLUSÃO

Devido aos resultados obtidos no decorrer dos ensaios realizados, o Resíduo analisado (LODO DA ETE) foi considerado Classe II – Não Inerte. Salientamos, portanto que a efetivação desse Resíduo deverá ser feita pelo órgão de controle ambiental após apreciação dos resultados dos parâmetros analisados, visto que nos baseamos somente pelos parâmetros listados nas listagens No. 7, 8 e 9 da ABNT NBR 10.004.

LISTA DE TABELAS DO ANEXO III

	Páginas
Tabela A-01 - Teores de umidade das diferentes misturas.....	128
Tabela A-02 - Dimensões dos tijolos de traço 0% e massa específica.....	129
Tabela A-03 - Dimensões dos tijolos de traço 10% e massa específica.....	129
Tabela A-04 - Dimensões dos tijolos de traço 15% e massa específica.....	130
Tabela A-05 - Dimensões dos tijolos de traço 20% e massa específica.....	130
Tabela A-06 - Dimensões dos tijolos de traço 25% e massa específica.....	131
Tabela A-07 - Dimensões dos tijolos de traço 30% e massa específica.....	131
Tabela A-08 - Dimensões dos tijolos de traço 40% e massa específica.....	132
Tabela A-09 - Valores do ensaio de resistência à compressão dos tijolos de traço 0%.....	133
Tabela A-10 - Valores do ensaio de resistência à compressão dos tijolos de traço 10%.....	133
Tabela A-11 - Valores do ensaio de resistência à compressão dos tijolos de traço 15%.....	134
Tabela A-12 - Valores do ensaio de resistência à compressão dos tijolos de traço 20%.....	134
Tabela A-13 - Valores do ensaio de resistência à compressão dos tijolos de traço 25%.....	135
Tabela A-14 - Valores do ensaio de resistência à compressão dos tijolos de traço 30%.....	135
Tabela A-15 - Valores do ensaio de resistência à compressão dos tijolos de traço 40%.....	136
Tabela A-16 - Resultados do Ensaio de gotejamento para o Traço 0 %.....	137
Tabela A-17 - Resultados do Ensaio de gotejamento para o Traço 10 %.....	137
Tabela A-18 - Resultados do Ensaio de gotejamento para o Traço 15 %.....	137
Tabela A-19 - Resultados do Ensaio de gotejamento para o Traço 20 %.....	138
Tabela A-20 - Resultados do Ensaio de gotejamento para o Traço 25 %.....	138
Tabela A-21 - Resultados do Ensaio de gotejamento para o Traço 30 %.....	139
Tabela A-22 - Resultados do Ensaio de gotejamento para o Traço 40 %.....	139
Tabela A-23 - Resultados do ensaio de Schlyter modificado para os traços 0% e 10%.....	140
Tabela A-24 - Resultados do ensaio de Schlyter modificado para os traços 15% e 20%.....	141
Tabela A-25 - Resultados do ensaio de Schlyter modificado para os traços 25% e 30%.....	142
Tabela A-26 - Resultados do ensaio de Schlyter modificado para o traço 40%.....	143
Tabela A-27 - Resultados do ensaio de Schlyter modificado para a madeira peroba rosa.....	144
Tabela A-28 - Resultados do ensaio de Schlyter modificado para a madeira ipê.....	145
Tabela A-29 - Ensaio no Tubo de Fogo para o traço 0 %.....	146
Tabela A-30 - Ensaio no Tubo de Fogo para o traço 10 %.....	147
Tabela A-31 - Ensaio no Tubo de Fogo para o traço 15 %.....	148
Tabela A-32 - Ensaio no Tubo de Fogo para o traço 20 %.....	149
Tabela A-33 - Ensaio no Tubo de Fogo para o traço 25 %.....	150
Tabela A-34 - Ensaio no Tubo de Fogo para o traço 30 %.....	151
Tabela A-35 - Ensaio no Tubo de Fogo para o traço 40 %.....	152
Tabela A-36 - Ensaio no Tubo de Fogo para a madeira peroba rosa.....	153
Tabela A-37 - Ensaio no Tubo de Fogo para o traço 1:4	154

Tabela A-01- Teores de umidade das diferentes misturas de solo e resíduo.

Traço 0%

Cápsulas	Taras(g)	Massa Úmido(g)	Massa seca (g)	Teor de Umidade(%)
M105	28,47	88,95	82,74	11,5
M106	28,22	74,45	69,92	10,8
M44	20,50	84,78	79,55	8,9
MÉDIA				10,4 %

Traço 10%

Cápsulas	Taras(g)	Massa Úmido(g)	Massa seca (g)	Teor de Umidade(%)
M106	28,22	88,40	82,24	9,88
M93	27,66	88,54	83,51	9,02
M98	29,54	85,59	80,34	10,30
MÉDIA				9,73%

Traço 15%

Cápsulas	Taras(g)	Massa Úmido(g)	Massa seca (g)	Teor de Umidade(%)
M32	20,49	117,47	97,96	25,18
M98	29,53	109,38	94,10	23,66
M97	30,63	136,06	115,98	23,52
MÉDIA				24,12%

Traço 20%

Cápsulas	Taras(g)	Massa Úmido(g)	Massa seca (g)	Teor de Umidade(%)
M89	31,10	96,19	90,19	10,32
M105	28,47	101,76	94,59	10,84
M106	28,22	85,09	79,42	11,07
MÉDIA				10,70%

Traço 25%

Cápsulas	Taras(g)	Massa Úmido(g)	Massa seca (g)	Teor de Umidade(%)
M32	20,49	111,67	90,07	31,04
M04	28,01	117,19	97,31	28,68
M17	26,36	125,05	102,62	29,40
MÉDIA				29,71

Traço30%

Cápsulas	Taras(g)	Massa Úmido(g)	Massa seca (g)	Teor de Umidade(%)
M32	21,83	98,12	80,46	30,12
M98	20,12	99,69	81,26	30,14
M97	25,37	119,58	97,82	30,03
MÉDIA				30,09%

Traço 40%

Cápsulas	Taras(g)	Massa Úmido(g)	Massa seca (g)	Teor de Umidade(%)
M32	21,25	111,72	86,60	38,42
M98	29,55	132,11	105,78	34,50
M97	25,67	112,35	88,04	38,70
MÉDIA				37,21%

Tabela A-02- Dimensões dos tijolos de traço 0% e massa específica.

Corpo de Prova N°	Massa (g)	Comprimento (cm)		Largura (cm)		Altura (cm)		Massa Específica (Kg/cm³)
1	4990	24,80	24,50	11,80	11,80	9,70	9,40	1,80
		Cm	24,65	Lm	11,80	Hm	9,55	
2	4630	22,50	22,50	11,50	12,00	9,30	9,60	1,85
		Cm	22,50	Lm	11,75	Hm	9,45	
3	4645	22,00	22,60	11,70	12,00	9,70	9,80	1,80
		Cm	22,30	Lm	11,85	Hm	9,75	
4	4960	24,50	24,40	11,40	11,40	9,80	9,70	1,83
		Cm	24,45	Lm	11,40	Hm	9,75	
5	4945	24,30	24,00	11,40	11,40	9,40	9,50	1,90
		Cm	24,15	Lm	11,40	Hm	9,45	
6	4840	22,60	22,80	11,70	12,20	9,80	9,70	1,83
		Cm	22,70	Lm	11,95	Hm	9,75	
7	5010	24,40	24,40	11,40	11,60	9,60	10,00	1,82
		Cm	24,40	Lm	11,50	Hm	9,80	
8	5265	24,10	24,40	11,50	11,50	10,80	10,60	1,76
		Cm	24,25	Lm	11,50	Hm	10,70	
9	5160	24,30	24,00	11,20	11,40	10,30	10,50	1,82
		Cm	24,15	Lm	11,30	Hm	10,40	
10	5165	24,20	24,00	11,50	11,50	9,80	9,40	1,94
		Cm	24,10	Lm	11,50	Hm	9,60	
Média								1,84

Tabela A-03- Dimensões dos tijolos de traço 10% e massa específica.

Corpo de Prova N°	Massa (g)	Comprimento (cm)		Largura (cm)		Altura (cm)		Massa Específica (Kg/cm³)
1	4905	24,10	23,90	11,50	11,50	10,20	10,00	1,76
		Cm	24,00	Lm	11,50	Hm	10,10	
2	4780	23,80	23,60	11,20	11,10	10,50	10,40	1,73
		Cm	23,70	Lm	11,15	Hm	10,45	
3	4845	23,80	23,60	11,30	11,10	9,90	10,00	1,83
		Cm	23,70	Lm	11,20	Hm	9,95	
4	4985	23,60	24,00	11,00	11,50	10,50	10,50	1,77
		Cm	23,80	Lm	11,25	Hm	10,50	
5	4810	24,00	23,70	11,50	11,50	10,10	9,90	1,75
		Cm	23,85	Lm	11,50	Hm	10,00	
6	4565	22,20	22,20	11,20	11,50	10,00	10,00	1,81
		Cm	22,20	Lm	11,35	Hm	10,00	
7	4695	24,20	24,20	11,30	11,60	10,20	10,00	1,68
		Cm	24,20	Lm	11,45	Hm	10,10	
8	5075	24,20	24,30	11,00	11,20	10,70	10,60	1,77
		Cm	24,25	Lm	11,10	Hm	10,65	
9	5005	24,30	24,10	11,60	11,50	10,70	10,40	1,70
		Cm	24,20	Lm	11,55	Hm	10,55	
10	4890	24,00	24,00	12,00	12,00	10,40	10,40	1,63
		Cm	24,00	Lm	12,00	Hm	10,40	
Média								1,74

Tabela A-04- Dimensões dos tijolos de traço 15% e massa específica.

Corpo de Prova N°	Massa (g)	Comprimento (cm)		Largura (cm)		Altura (cm)		Massa Específica (Kg/lcm³)
1	5075	24,00	24,00	11,20	11,20	10,50	10,50	1,74
		Cm	24,00	Lm	11,2	Hm	10,50	
2	4900	24,10	24,10	11,20	11,20	10,40	10,10	1,68
		Cm	24,10	Lm	11,75	Hm	10,30	
3	4880	24,00	24,00	11,40	11,40	10,20	10,60	1,72
		Cm	24,00	Lm	11,40	Hm	10,40	
4	4905	23,50	23,50	11,70	11,70	10,40	10,40	1,71
		Cm	23,50	Lm	11,70	Hm	10,40	
5	4830	23,10	23,60	10,90	10,90	10,40	10,60	1,75
		Cm	23,35	Lm	10,90	Hm	10,50	
6	4890	24,10	24,20	11,10	11,10	10,50	10,50	1,73
		Cm	24,15	Lm	11,10	Hm	10,50	
7	5000	24,20	24,00	11,20	11,20	10,50	10,40	1,75
		Cm	24,10	Lm	11,20	Hm	10,50	
8	4910	23,30	24,00	11,60	11,60	10,40	10,40	1,70
		Cm	23,65	Lm	11,60	Hm	10,40	
9	4900	23,90	23,30	11,40	11,40	10,20	10,20	1,74
		Cm	24,15	Lm	11,40	Hm	10,20	
10	4915	23,60	24,10	11,50	11,50	10,30	10,30	1,70
		Cm	23,85	Lm	11,50	Hm	10,30	
Média								1,70

Tabela A-05- Dimensões dos tijolos de traço 20% e massa específica.

Corpo de Prova N°	Massa (g)	Comprimento (cm)		Largura (cm)		Altura (cm)		Massa Específica (Kg/lcm³)
1	4410	24,40	24,20	11,00	11,50	10,50	10,50	1,54
		Cm	24,30	Lm	11,25	Hm	10,50	
2	4340	24,00	23,70	11,50	11,40	10,30	10,00	1,57
		Cm	23,85	Lm	11,45	Hm	10,15	
3	4535	24,20	24,10	11,50	11,50	10,20	9,60	1,65
		Cm	24,15	Lm	11,50	Hm	9,90	
4	4395	23,20	23,30	11,50	11,50	10,20	9,60	1,66
		Cm	23,25	Lm	11,50	Hm	9,90	
5	4925	24,00	24,00	11,50	11,50	10,90	10,50	1,67
		Cm	24,00	Lm	11,50	Hm	10,70	
6	4380	24,00	24,00	11,00	11,50	10,20	10,50	1,57
		Cm	24,00	Lm	11,25	Hm	10,35	
7	4330	24,20	24,20	11,30	11,70	9,50	10,00	1,60
		Cm	24,20	Lm	11,50	Hm	9,75	
8	4400	23,50	23,50	11,60	11,50	10,00	9,80	1,64
		Cm	23,50	Lm	11,55	Hm	9,90	
9	4400	24,20	23,50	11,60	11,50	9,80	9,90	1,62
		Cm	23,85	Lm	11,55	Hm	9,85	
10	4330	23,90	24,00	11,00	11,50	10,50	10,50	1,53
		Cm	23,95	Lm	11,25	Hm	10,50	
Média								1,60

Tabela A-06- Dimensões dos tijolos de traço 25% e massa específica.

Corpo de Prova N°	Massa (g)	Comprimento (cm)		Largura (cm)		Altura (cm)		Massa Específica (Kg/cm³)
1	4975	24,20	24,40	11,30	11,30	11,00	10,70	1,61
		Cm	24,3	Lm	11,3	Hm	10,85	
2	4450	24,00	24,10	11,20	11,40	10,40	9,90	1,61
		Cm	24,15	Lm	11,30	Hm	10,15	
3	4630	24,30	24,10	10,90	11,00	10,90	10,40	1,56
		Cm	24,20	Lm	10,50	Hm	10,65	
4	4590	24,00	24,00	11,50	11,30	10,30	9,90	1,60
		Cm	24,00	Lm	11,40	Hm	10,10	
5	4515	24,20	24,00	10,80	10,80	10,70	10,60	1,63
		Cm	24,10	Lm	10,80	Hm	10,65	
6	4405	23,70	24,00	11,30	11,50	9,60	9,90	1,64
		Cm	23,85	Lm	11,40	Hm	9,75	
7	4405	23,80	23,70	11,40	11,40	9,90	9,90	1,64
		Cm	23,75	Lm	11,40	Hm	9,90	
8	4565	24,20	24,40	11,40	11,40	10,20	10,20	1,62
		Cm	24,30	Lm	11,40	Hm	10,20	
9	4495	24,00	24,00	11,40	11,30	10,40	10,50	1,58
		Cm	24,00	Lm	11,35	Hm	10,45	
10	4335	23,60	23,90	11,50	11,00	10,00	10,00	1,62
		Cm	23,75	Lm	11,35	Hm	10,00	
Média								1,61

Tabela A-07- Dimensões dos tijolos de traço 30% e massa específica.

Corpo de Prova N°	Massa (g)	Comprimento (cm)		Largura (cm)		Altura (cm)		Massa Específica (Kg/cm³)
1	4395	24,20	24,40	11,90	12,00	10,10	10,00	1,51
		Cm	24,30	Lm	11,95	Hm	10,05	
2	4075	23,80	23,80	11,40	11,20	10,30	10,20	1,48
		Cm	23,80	Lm	11,30	Hm	10,25	
3	4240	24,00	24,00	11,40	11,50	10,20	10,50	1,49
		Cm	24,00	Lm	11,45	Hm	10,35	
4	4170	24,20	24,20	11,50	11,40	10,10	10,40	1,47
		Cm	24,20	Lm	11,45	Hm	10,25	
5	4115	24,10	24,00	10,90	10,80	10,10	10,00	1,57
		Cm	24,05	Lm	10,85	Hm	10,05	
6	4215	23,90	24,00	11,40	11,50	10,20	10,40	1,49
		Cm	23,95	Lm	11,45	Hm	10,30	
7	4090	24,00	24,00	11,00	11,50	10,40	10,40	1,46
		Cm	24,00	Lm	11,25	Hm	10,40	
8	4055	23,60	23,70	11,30	11,10	10,20	10,00	1,52
		Cm	23,65	Lm	11,20	Hm	10,10	
9	4165	24,10	24,00	10,90	10,70	10,40	10,00	1,57
		Cm	24,05	Lm	10,80	Hm	10,20	
10	4405	23,90	24,00	11,40	11,70	9,90	10,50	1,56
		Cm	23,95	Lm	11,55	Hm	10,20	
Média								1,51

Tabela A-08- Dimensões dos tijolos de traço 40% e massa específica.

Corpo de Prova N°	Massa (g)	Comprimento (cm)		Largura (cm)		Altura (cm)		Massa Específica (Kgf/cm³)
1	3760	24,00	24,00	11,20	11,40	10,00	10,00	1,39
		Cm	24,00	Lm	11,30	Hm	10,00	
2	3900	23,90	24,00	11,50	11,50	10,00	10,40	1,39
		Cm	23,95	Lm	11,50	Hm	10,20	
3	3720	23,90	23,80	11,40	11,40	10,00	10,30	1,35
		Cm	23,85	Lm	11,40	Hm	10,15	
4	3740	24,20	24,00	11,50	11,60	9,80	10,00	1,36
		Cm	24,10	Lm	11,55	Hm	9,90	
5	3745	24,60	24,20	11,00	11,00	9,60	10,30	1,40
		Cm	24,40	Lm	11,00	Hm	9,95	
6	3815	24,00	24,00	11,30	11,50	10,20	9,90	1,39
		Cm	24,00	Lm	11,40	Hm	10,05	
7	3755	24,30	24,00	12,00	12,30	9,50	10,10	1,31
		Cm	24,15	Lm	12,15	Hm	9,80	
8	3720	24,00	24,00	11,10	11,50	10,00	10,30	1,35
		Cm	24,00	Lm	11,30	Hm	10,15	
9	3860	24,00	24,20	11,50	12,00	10,00	9,80	1,38
		Cm	24,10	Lm	11,75	Hm	9,90	
10	3890	24,50	24,40	12,00	12,30	9,00	10,30	1,36
		Cm	24,45	Lm	12,15	Hm	9,65	
Média								1,37

Tabela A-09- Valores do ensaio de resistência à compressão dos tijolos de traço 0%.

CP - Traço 0%	Seção de Ruptura				Área da seção (cm²)	P _{rup} (kgf)	fck(kgf/cm²)
	a1/a3	a2/a4	b1/b3	b2/b4			
1	12	11,5	11,3	11	130,41	1620	12,42
	11,7	11,9	11	11			
2	11,5	11,4	11,5	11,2	132,21	1250	9,45
	11,7	12,2	11,3	11,2			
3	10,5	10,8	11,2	11,4	123,12	1650	13,4
	11	10,9	11,5	11,5			
4	12	11,9	11,2	11,2	134,72	1740	12,92
	12	12	11,3	11,3			
5	12,2	12	11	11,3	136,75	1220	8,92
	11,9	12,2	11,5	11,5			
6	11,5	11,6	11	11,1	128,21	1830	14,27
	11,2	11,9	11,1	11,2			
7	12	11,9	11,4	11,3	135,05	1500	11,11
	11,8	12	11,2	11,4			
8	12	11,3	11,2	11	130,75	1560	11,93
	11,6	11,9	11,3	11,2			
9	11,1	11	11,5	11,3	123,47	1460	11,82
	10,8	11	11,2	11			
10	11,6	11,6	11,5	11,2	133,37	1450	10,87
	11,7	12	11,4	11,4		Média D. padrão	1,17 Mpa 1,68

Tabela A-10-Valores do ensaio de resistência à compressão dos tijolos de traço 10%.

CP - Traço 10%	Seção de Ruptura				Área da seção (cm²)	P _{rup} (kgf)	fck(kgf/cm²)
	a1/a3	a2/a4	b1/b3	b2/b4			
1	11,2	11,2	11,3	11,5	127,37	1430	11,23
	11	11	11,5	11,6			
2	12	12	11,5	11,4	136,54	1400	10,25
	11,9	11,8	11,5	11,4			
3	11,9	11,9	11,3	11,3	135,9	1260	9,27
	12,2	12	11,3	11,4			
4	11	11	11,6	11,7	127,84	1280	10,01
	10,8	11	11,7	11,7			
5	11,5	11,5	12	12	138	1560	11,3
	11,5	11,5	12	12			
6	11	11	11,7	11,5	127,33	1150	9,03
	11	11	11,5	11,6			
7	11,9	12	11,5	11,4	135,97	1210	8,9
	11,6	12	11,4	11,5			
8	11,1	11	11,5	11,4	126,51	1400	11,07
	11	11	11,5	11,5			
9	12,1	12	11,6	11,6	139,2	1450	10,42
	11,9	12	11,5	11,7			
10	12	12,1	11,8	11,5	138,62	1440	10,39
	11,9	11,8	11,5	11,6		Média D. padrão	1,02 Mpa 0,89

Tabela A-11-Valores do ensaio de resistência à compressão dos tijolos de traço 15%.

CP - Traço 15%	Seção de Ruptura				Área da seção (cm²)	P _{rup} (kgf)	fck(kgf/cm²)
	a1/a3	a2/a4	b1/b3	b2/b4			
1	12,3	11,7	11,5	11,5	136,86	1400	10,23
	12,2	11,3	11,6	11,5			
2	12,2	12,3	11,4	11,5	139,98	1430	10,22
	12	12,4	11,5	11,4			
3	12	11,8	11,4	11,4	133,26	1530	11,48
	12,2	11,7	11	10,9			
4	11,9	11,5	11,7	11,3	133,67	1250	9,35
	11,8	11,7	11,4	11,2			
5	11,8	12,2	10,9	11	131,45	1300	9,89
	11,8	12	10,9	11,2			
6	12,5	11,7	11,1	11,5	137,62	1400	10,17
	12,4	11,9	11,4	11,4			
7	12,2	12	11,2	11,5	136,77	1480	10,82
	11,8	12,2	11,3	11,4			
8	11,9	12	11,8	11,6	138,93	1420	10,22
	11,8	12	11,6	11,6			
9	12,2	11,8	11,4	11,4	136,8	1300	9,5
	12	12	11,4	11,4			
10	12,1	11,8	11,5	11,6	137,41	1580	11,35
	11,8	12,2	11,4	11,4		Média D. padrão	1,03 Mpa 0,71

Tabela A-12- Valores do ensaio de resistência à compressão dos tijolos de traço 20%.

CP - Traço 20%	Seção de Ruptura				Área da seção (cm²)	P _{rup} (kgf)	fck(kgf/cm²)
	a1/a3	a2/a4	b1/b3	b2/b4			
1	11,2	11,3	11,1	11,4	131,37	1380	10,5
	12	11,9	11,5	11,3			
2	11,5	11,4	11	11,2	133	1400	10,53
	12,5	12,1	11,2	11,4			
3	11,7	11,9	11,3	11,2	134,7	1480	10,99
	12,2	12,2	11,2	11,2			
4	11,6	12,4	11	11,1	131,81	1370	10,39
	12	11,5	11,2	11,1			
5	12,2	11,8	11,3	11,1	130,44	1370	10,5
	11,3	11,6	11	11,1			
6	11,7	12	11,5	11,4	132,79	1450	10,92
	11,7	11,5	11,2	11,2			
7	12	11,6	11,4	11,2	133,31	----	----
	11,9	11,9	11,2	11,2			
8	11,9	11,7	11,4	11,2	133,35	1130	8,47
	11,8	11,7	11,5	11,2			
9	11,7	11,7	11,2	11,2	127,96	1460	11,41
	11	11,3	11,2	11,2			
10	11,8	11,9	11,2	11,5	134,81	1390	10,31
	11,9	11,7	11,4	11,5		Média D. padrão	1,05 Mpa 0,82

Tabela A-13- Valores do ensaio de resistência à compressão dos tijolos de traço 25%.

CP - Traço 25%	Seção de Ruptura				Área da seção (cm²)	P _{rup} (kgf)	fck(kgf/cm²)
	a1/a3	a2/a4	b1/b3	b2/b4			
1	12,4	11,9	11,5	11,5	139,73	1240	8,87
	12,6	11,7	11,5	11,5			
2	12,6	12,6	11,3	11,3	138,99	1280	9,21
	12,2	11,8	11,3	11,3			
3	13,3	12,5	11,2	11,2	136,34	1350	9,90
	11,6	11,4	11,2	11,1			
4	11,7	11,5	11,5	11,5	131,09	1320	10,07
	11,7	11,4	11,2	11,1			
5	12,1	12,0	11,1	11,0	132,73	1180	8,89
	12,0	12,0	11,0	11,1			
6	11,9	11,8	11,5	11,5	135,69	1320	9,73
	11,9	11,7	11,5	11,4			
7	11,8	11,7	11,5	11,4	134,84	1280	9,49
	11,7	11,7	11,5	11,6			
8	12,0	12,0	11,7	11,5	139,49	1360	9,75
	12,1	12,0	11,6	11,6			
9	11,6	11,7	11,5	11,5	134,27	1380	10,28
	11,6	11,7	11,5	11,6			
10	11,4	11,9	11,4	11,6	135,13	1320	9,77
	11,8	11,8	11,6	11,5		Média D. padrão	0,96 Mpa 0,48

Tabela A-14- Valores do ensaio de resistência à compressão dos tijolos de traço 30%.

CP - Traço 30%	Seção de Ruptura				Área da seção (cm²)	P _{rup} (kgf)	fck(kgf/cm²)
	a1/a3	a2/a4	b1/b3	b2/b4			
1	12,1	11,9	11,2	11	130,75	1280	9,79
	11,5	11,3	11	11,5			
2	12	11,9	11,5	11,2	135,05	1350	10
	11,9	11,9	11,4	11,2			
3	12	11,7	11,2	11,1	132,39	1150	8,69
	11,9	12	11,1	11,1			
4	11,5	11,7	11,1	11,1	129,33	1140	8,81
	11,6	11,7	11,1	11,2			
5	11,9	12	11,4	11,4	136,52	1250	9,16
	12	12	11,3	11,5			
6	11,9	11,8	11,4	11,5	135,68	1220	8,99
	11,9	11,8	11,4	11,5			
7	12,2	12,1	11,5	11,4	135,93	1180	8,68
	11,7	11,8	11,3	11,3			
8	11,9	11,8	11,6	11,5	138,91	1400	10,08
	12,1	12,1	11,6	11,7			
9	12	11,9	11,5	11,3	135,63	1390	10,25
	11,7	12,2	11,2	11,4			
10	11,5	11,5	11,4	11,3	134,23	1310	9,76
	12,2	12	11,5	11,3		Média D. padrão	0,95 Mpa 0,62

Tabela A-15- Valores do ensaio de resistência à compressão dos tijolos de traço 40%.

CP - Traço 40%	Seção de Ruptura				Área da seção (cm²)	P _{rup} (kgf)	fck(kgf/cm²)
	a1/a3	a2/a4	b1/b3	b2/b4			
1	11,6	11,7	11,4	11,3	133,94	990	7,39
	11,9	11,9	11,4	11,4			
2	12,1	11,8	11,5	11,3	136,52	1100	8,06
	11,9	12,1	11,3	11,5			
3	12	11,8	11,6	11,7	137,74	1220	8,86
	11,7	12,1	11,6	11,4			
4	12	11,9	11,4	11,4	136,83	1020	7,45
	11,9	12	11,5	11,5			
5	11,9	12,1	11,4	11,4	136,26	1020	7,49
	11,8	11,8	11,5	11,5			
6	11,8	11,9	10,9	10,9	131,77	1070	8,12
	12	12	11	11,4			
7	12,4	12,2	11,4	11,5	140,64	1060	7,54
	11,9	12,1	11,7	11,7			
8	11,8	12,2	11,1	11,2	132,98	1140	8,57
	11,8	11,8	11,1	11,3			
9	12	11,9	11,1	11,2	133,26	1080	8,1
	12	11,8	11,1	11,3			
10	12,1	11,9	11,6	11,9	143,98	1100	7,64
	12,3	12,2	11,9	12,1		Média D. padrão	0,79 Mpa 0,51

Tabela A-16- Resultados do Ensaio de gotejamento para o Traço 0%.

Traço 0%			
1h - 10:00	CP1	CP2	CP3
furo	m	m	m
diâmetro (cm)	1,50	1,60	2,30
profundidade	R	I	R
2hs - 11:00	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,74	2,00	1,30
profundidade	I	P	P
alteração nas bordas	-	-	fissuras no 1º quadrante
3 hs - 12:00	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,52	2,50	1,80
profundidade	T	T	T
perfuração total	T	T	T
alteração nas bordas	-	-	fissuras no 1º quadrante

Tabela A-17- Resultados do Ensaio de gotejamento para o Traço 10%.

Traço 10%			
1h - 10:00	CP1	CP2	CP3
furo	m	m	m
diâmetro (cm)	0,80	0,90	1,10
profundidade	R	I	I
2hs - 11:00	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,05	1,24	1,40
profundidade	I	I	I
3 hs - 12:00	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,35	1,38	1,50
profundidade	T	T	I
perfuração total	T	T	-
4 hs - 13:00	CP1	CP2	CP3
furo	-	-	f
diâmetro (cm)	-	-	2,40
profundidade	-	-	P
5 hs - 14:00	CP1	CP2	CP3
furo	-	-	f
diâmetro (cm)	-	-	2,50
profundidade	-	-	T
perfuração total	T	T	T

Tabela A-18- Resultados do Ensaio de gotejamento para o Traço 15%.

Traço 15%			
1h - 15:20	CP1	CP2	CP3
furo	m	m	m
diâmetro (cm)	1,20	1,15	1,30
profundidade	R	R	R
2hs - 16:20	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,60	1,60	1,70
profundidade	I	I	I
3 hs - 17:20	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,1	1,5	1,2
profundidade	I	I	P
4 hs - 18:20	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,30	1,60	1,20
profundidade	P	P	T
5 hs - 19:20	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	-
diâmetro (cm)	1,30	1,40	-
profundidade	P	P	-
6 hs - 20:20	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	-
diâmetro (cm)	1,6	1,7	-
profundidade	T	P	-
7 hs - 21:20	CP1	CP2	CP3
furo	-	f	-
diâmetro (cm)	-	1,70	-
profundidade	-	T	-
perfuração total	T	T	T

NOTAÇÃO:

m - marcação superficial nas placas; f - furo visível; profundidade do furo (R - raso; I - intermediário; P - profundo e T - total).

Tabela A-19- Resultados do Ensaio de gotejamento para o Traço 20%.

Traço 20%			
1h - 10:30	CP1	CP2	CP3
furo	m	m	m
diâmetro (cm)	0,70	1,51	1,90
profundidade	R	R	R
2hs - 11:30	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	0,70	1,0	0,96
profundidade	R	I	I
3 hs - 12:30	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	0,80	1,10	1,10
profundidade	R	I	I
4 hs - 13:30	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,30	1,70	1,70
profundidade	R	I	I
5 hs - 14:30	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	2,10	1,80	1,80
profundidade	R	I	I
6 hs - 15:30	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,20	1,80	1,30
profundidade	R	I	I
7 hs - 16:30	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,30	1,50	1,00
profundidade	I	I	I
8 hs - 17:30	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	0,80	0,90	0,60
profundidade	I	T	T
9 hs - 18:30	CP1	CP2	CP3
furo	f	-	-
diâmetro (cm)	0,70	-	-
profundidade	P	-	-
10 hs - 19:30	CP1	CP2	CP3
furo	f	-	-
diâmetro (cm)	0,60	-	-
profundidade	T	-	-
perfuração total	T	T	T

Tabela A-20- Resultados do Ensaio de gotejamento para o Traço 25%.

Traço 25%			
1h - 9:25	CP1	CP2	CP3
furo	m	m	m
diâmetro (cm)	0,90	0,90	0,90
profundidade	R	R	R
2hs - 10:25	CP1	CP2	CP3
furo	m	m	F
diâmetro (cm)	1,00	0,90	0,80
profundidade	R	R	R
3 hs - 11:25	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,20	1,21	1,11
profundidade	R	R	I
4 hs - 12:25	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,32	1,21	1,11
profundidade	R	R	I
5 hs - 13:25	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,40	1,30	1,21
profundidade	I	R	I
6 hs - 14:25	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,30	1,20	1,40
profundidade	I	I	I
7 hs - 15:25	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,20	1,30	1,50
profundidade	P	P	P
8 hs - 16:25	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,10	1,00	1,00
profundidade	P	T	T
9 hs - 17:25	CP1	CP2	CP3
furo	f	-	-
diâmetro (cm)	1,0	-	-
profundidade	T	-	-
perfuração total	T	T	T
perfuração total	T	T	T

Tabela A-21- Resultados do Ensaio de gotejamento para o Traço 30%.

Traço 30%			
1h - 9:30	CP1	CP2	CP3
furo	m	m	m
diâmetro (cm)	0,70	0,80	0,90
profundidade	R	R	R
2hs - 10:30	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,00	1,20	1,10
profundidade	I	R	R
3 hs - 11:30	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,00	1,30	1,10
profundidade	I	R	R
4 hs - 12:30	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,30	1,30	1,40
profundidade	I	I	R
5 hs - 13:30	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,50	1,00	1,30
profundidade	I	I	I
6 hs - 14:30	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,20	1,20	1,40
profundidade	I	I	I
7 hs - 15:30	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,20	1,50	1,40
profundidade	T	I	I
8 hs - 16:30	CP1	CP2	CP3
furo	-	f	f
diâmetro (cm)	-	1,60	1,30
profundidade	-	P	I
9 hs - 18:30	CP1	CP2	CP3
furo	-	f	f
diâmetro (cm)	-	1,30	1,30
profundidade	-	P	T
10 hs - 20:30	CP1	CP2	CP3
furo	-	f	-
diâmetro (cm)	-	1,20	-
profundidade	-	T	-
perfuração total	T	T	T

Tabela A-22- Resultados do Ensaio de gotejamento para o Traço 40%.

Traço 40%			
1h - 9:40	CP1	CP2	CP3
furo	m	m	m
diâmetro (cm)	1,20	1,20	1,30
profundidade	R	R	R
2hs - 10:40	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	F
diâmetro (cm)	1,52	1,33	1,48
profundidade	I	R	R
3 hs - 11:40	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	F
diâmetro (cm)	1,80	1,50	1,60
profundidade	R	R	R
4 hs - 12:40	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,90	1,70	1,70
profundidade	I	R	R
5 hs - 13:40	CP1	CP2	CP3
furo	f	f	f
diâmetro (cm)	1,90	1,80	1,90
profundidade	T	I	I
6 hs - 14:40	CP1	CP2	CP3
furo	-	f	f
diâmetro (cm)	-	1,90	1,70
profundidade	-	I	T
7 hs - 15:40	CP1	CP2	CP3
furo	-	f	-
diâmetro (cm)	-	1,60	-
profundidade	-	T	-
perfuração total	T	T	T

NOTAÇÃO:

m - marcação superficial nas placas; f - furo visível; profundidade do furo (R - raso; I - intermediário; P - profundo e T - total).

Tabela A-23- Resultados do ensaio de Schlyter modificado para os traços 0% e 10%.

T	TRAÇO 0 %				TRAÇO 10%			
t (seg.)	h ₁	h ₂	h _m	P	h ₁	h ₂	h _m	P
0	60	70	65	0	65	67	66	0
15	61	63	62	-3	56	56	56	-10
30	65	65	65	0	64	64	64	-2
45	65	65	65	0	67	65	66	0
60	68	70	69	4	67	65	66	0
15	75	70	72,5	7,5	65	65	65	-1
30	75	75	75	10	70	66	68	2
45	80	80	80	15	63	65	64	-2
60	75	80	77,5	12,5	67	67	67	1
15	80	80	80	15	67	67	67	1
30	83	81	82	17	67	69	68	2
45	80	80	80	15	67	67	67	1
60	80	82	81	16	65	67	66	0
15	0	0	0	-	0	0	0	0
I	2,5 min				2,5 min			
Pd	16				0			
D	0				0			
h _i	31,5				37			
h _f	26,5				31			
T	Traços							
t	Tempo de ensaio decorrido (segundos)							
h ₁ e h ₂	Altura da chama (cm)							
h _m	Média das alturas da chama (cm)							
h _i	Altura da marca escura nas placas (queimadura), no instante que o queimador é desligado (cm)							
h _f	Altura da marca escura nas placas (queimadura), após o seu resfriamento (cm)							
P	Propagação da chama (cm)							
I	Instante que ocorre a máxima propagação da chama (minutos)							
Pd	Propagação da chama no instante que o queimador é desligado (cm)							
D	Duração da fumaça após desligar o queimador (segundos)							

Tabela A-24- Resultados do ensaio de Schlyter modificado para os traços 15% e 20%.

T	TRAÇO 15 %				TRAÇO 20 %			
t (seg.)	h ₁	h ₂	h _m	P	h ₁	h ₂	h _m	P
0	66	66	66	0	60	66	63	0
15	61	67	64	-2	65	63	64	1
30	65	67	66	0	65	65	65	2
45	70	70	70	4	70	62	66	3
60	71	73	72	6	65	67	66	3
15	75	75	75	9	66	66	66	3
30	77	77	77	11	69	69	69	6
45	85	85	85	19	70	70	70	7
60	87	87	87	21	65	73	69	6
15	89	89	89	23	70	76	73	10
30	93	93	93	27	67	71	69	6
45	95	96	95,5	29,5	76	74	75	12
60	95	95	95,5	29,5	74	76	75	12
15	0	0	0	-	0	0	0	-
I	3,0 min				3,0 min			
Pd	29,5				12			
D	0				0			
h _i	41,3				36,5			
h _f	35,7				32			
T	Traços							
t	Tempo de ensaio decorrido (segundos)							
h ₁ e h ₂ h _m	Altura da chama (cm)							
	Média das alturas da chama (cm)							
h _i	Altura da marca escura nas placas (queimadura), no instante que o queimador é desligado (cm)							
h _f	Altura da marca escura nas placas (queimadura), após o seu resfriamento (cm)							
P	Propagação da chama (cm)							
I	Instante que ocorre a máxima propagação da chama (minutos)							
Pd	Propagação da chama no instante que o queimador é desligado (cm)							
D	Duração da fumaça após desligar o queimador (segundos)							

Tabela A-25- Resultados do ensaio de Schlyter modificado para os traços 25% e 30%.

T	TRAÇO 25 %				TRAÇO 30 %			
t (seg.)	h ₁	h ₂	h _m	P	h ₁	h ₂	h _m	P
0	65	65	65	0	70	72	71	0
15	66	62	64	-1	63	62	62,5	-8,5
30	64	64	64	-1	66	66	66	-5
45	65	65	65	0	67	70	68,5	-2,5
60	63	62	63	-2	79	71	71	0
15	65	61	63	-2	74	74	74	3
30	64	64	64	-1	86	82	84	13
45	65	65	65	0	93	97	95	24
60	64	64	64	-1	97	103	100	29
15	66	66	66	1	102	102	102	31
30	70	66	68	3	102	104	103	32
45	68	68	68	3	103	105	104	33
60	71	72	71,5	6,5	105	105	105	34
15	0	0	0	-	0	0	0	-
I	3,0 min				3,0 min			
Pd	6,5				34			
D	0				80 seg.			
h _i	35,5				54,5			
h _f	32,5				43,8			
T	Traços							
t	Tempo de ensaio decorrido (segundos)							
h ₁ e h ₂	Altura da chama (cm)							
h _m	Média das alturas da chama (cm)							
h _i	Altura da marca escura nas placas (queimadura), no instante que o queimador é desligado (cm)							
h _f	Altura da marca escura nas placas (queimadura), após o seu resfriamento (cm)							
P	Propagação da chama (cm)							
I	Instante que ocorre a máxima propagação da chama (minutos)							
Pd	Propagação da chama no instante que o queimador é desligado (cm)							
D	Duração da fumaça após desligar o queimador (segundos)							

Tabela A-26- Resultados do ensaio de Schlyter modificado para os traços 40%.

T	TRAÇO 40 %			
t (seg.)	h _i	h ₂	h _m	P
0	65	63	64	0
15	65	65	65	1
30	70	70	70	6
45	74	76	75	11
60	82	80	81	17
15	86	86	86	22
30	90	92	91	27
45	95	93	94	30
60	95	95	95	31
15	93	93	93	29
30	93	91	92	28
45	90	90	90	26
60	95	93	94	30
15	0	0	0	-
I	2,0 min			
Pd	30			
D	100 seg.			
h _i	45			
h _f	38,5			
T	Traços			
t	Tempo de ensaio decorrido (segundos)			
h ₁ e h ₂ h _m	Altura da chama (cm)			
	Média das alturas da chama (cm)			
h _i	Altura da marca escura nas placas (queimadura), no instante que o queimador é desligado (cm)			
h _f	Altura da marca escura nas placas (queimadura), após o seu resfriamento (cm)			
P	Propagação da chama (cm)			
I	Instante que ocorre a máxima propagação da chama (minutos)			
Pd	Propagação da chama no instante que o queimador é desligado (cm)			
D	Duração da fumaça após desligar o queimador (segundos)			

Tabela A-27- Resultados do Ensaio de Schlyter Modificado para a Peroba Rosa.

N	1 e 2		3 e 4		5 e 6		7 e 8	
t (seg.)	h	P	h	P	h	P	h	P
0	60	0	60	0	70	0	70	0
15	65	5	70	1	100	30	90	20
30	85	25	85	25	100	30	100	30
45	100	40	100	40	100	30	100	30
60	110	50	15	45	110	40	100	30
15	115	50	115	55	110	40	110	40
30	120	55	120	60	110	40	110	40
45	130	60	125	65	115	45	120	50
60	135	70	130	70	120	50	120	50
15	140	75	137	77	120	50	125	55
30	140	80	145	85	130	60	125	55
45	145	80	145	85	130	60	130	60
60	150	85	150	90	135	65	135	65
15	1	90	100	40	90	20	110	40
30	80	40						
45		20						
I	3,0		3,0		3,0		3,0	
Pd	90		90		65		65	
D	34		18		19		17	
N	Número do corpo de prova							
t	Tempo de ensaio decorrido (segundos)							
h	Altura da chama (cm)							
P	Propagação da chama (cm)							
I	Instante que ocorre a máxima propagação da chama (minutos)							
Pd	Propagação da chama no instante que o queimador é desligado (cm)							
D	Duração da chama após desligar o queimador (segundos)							

Fonte: AGUILLAR FILHO (1986).

Tabela A-28- Resultados do Ensaio de Schlyter Modificado para a madeira Ipê.

N	1 e 2		3 e 4		5 e 6		7 e 8	
t (seg.)	h	P	h	P	h	P	h	P
0	65	0	66	0	67	0	70	0
15	72	7	72	6	73	6	77	7
30	75	10	77	11	79	12	91	21
45	82	17	85	19	85	18	92	22
60	96	31	92	26	90	23	96	26
15	102	37	100	34	94	27	101	31
30	105	40	107	41	108	41	107	37
45	112	47	110	44	109	42	108	38
60	115	50	113	47	112	45	112	42
15	119	54	115	49	115	48	115	45
30	123	58	121	55	120	53	115	45
45	126	61	124	58	122	55	120	50
60	128	63	129	63	126	59	127	57
15	75	10	70	4	95	28	95	25
30								
45								
I	3,0		3,0		3,0		3,0	
Pd	63		63		59		57	
D	28		26		25		20	
N	Número do corpo de prova							
t	Tempo de ensaio decorrido (segundos)							
h	Altura da chama (cm)							
P	Propagação da chama (cm)							
I	Instante que ocorre a máxima propagação da chama (minutos)							
Pd	Propagação da chama no instante que o queimador é desligado (cm)							
D	Duração da chama após desligar o queimador (segundos)							

Fonte: AGUILLAR FILHO (1986).

Tabela A-29- Ensaio do Tubo de Fogo dos corpos de prova de traço 0 % Temp. inicial = 25°C = 1000 (CP=01), para o CP=02, Temp. inicial =28°C =1122 , e, para os CP 03 e 04, Temp. inicial = 32°C =1285.

N	TRAÇO 0%											
	01			02			03			04		
t	P	mV	T	P	mV	T	P	mV	T	P	mV	T
0,5	0	13,57	356	0	11,40	308	0	8,46	240	0	7,12	207
1,0	0	15,09	392	2	13,26	352	0	13,63	365	3	14,65	389
1,5	0	16,62	429	2	15,78	412	1	15,02	398	4	15,03	398
2,0	0	18,39	471	4	16,40	427	1	15,92	419	5	14,51	385
2,5	0	19,90	506	5	16,41	427	2	16,43	431	5	24,85	558
3,0	0	21,12	535	7	15,57	407	3	16,45	432	6	22,27	568
3,5	0	20,55	522	9	17,84	461	3	16,95	443	6	21,12	542
4,0	0	20,02	509	12	19,52	500	4	16,91	442	7	21,20	543
4,5	1	8,76	241	13	6,81	195	4	8,69	245	7	11,55	315
5,0	1	7,86	218	13	6,09	177	5	6,68	197	7	10,12	281
5,5	1	7,05	198	13	5,65	166	5	6,03	180	7	8,53	242
6,0	1	6,85	193	13	5,05	151	5	5,33	162	7	5,32	162
PD	1			13			5			7		
ID	4,0			4,0			4,0			4,0		
TM	535°C			500°C			443°C			568°C		
ITM	3,0			4,0			3,5			3,0		
Pi	897			887			971			937		
Pf	844 (53)			851 (36)			942(29)			887 (50)		

N- número do corpo de prova

t- tempo de ensaio (minutos)

P- perda de massa medidas na tabela em %

Pi- massa inicial da barra antes do ensaio

Pf- massa final da barra depois de ensaiada

mV- medição do termopar no topo do tubo em microvolts

T- temperatura no topo do tubo em °C

PD- Perda de massa

ID- Instante em que as chamas desaparecem (minutos)

TM- temperatura máxima obtida em °C

ITM- Instante em que a temperatura máxima ocorre (minutos)

()- Diferença das pesagens ($P_i - P_f$)

Tabela A-30- Ensaio do Tubo de Fogo dos corpos de prova de traço 10% com Temp. inicial = 25°C = 1000 (CP 01), para os CP 02 e 03, Temp. inicial = 28 °C=1122, e, para o CP 04, Temp. inicial =32°C =1285.

N	TRAÇO 10%											
	01			02			03			04		
t	P	mV	T	P	mV	T	P	mV	T	P	mV	T
0,5	0	12,37	328	0	13,41	356	1	9,55	263	2	5,37	163
1,0	0	13,86	363	4	14,55	383	1	10,77	292	3	7,53	217
1,5	0	14,79	385	7	15,34	402	5	11,89	320	4	11,27	308
2,0	0	15,80	410	8	15,53	406	6	12,13	325	5	12,22	331
2,5	0	16,60	429	9	17,03	443	7	13,41	355	5	15,67	413
3,0	0	17,73	455	9	16,34	426	8	13,29	353	7	21,03	540
3,5	0	19,09	487	10	15,9	416	8	13,80	365	8	21,25	544
4,0	1	18,90	483	10	17,09	443	9	13,59	360	9	20,03	516
4,5	1	8,89	243	11	7,42	211	9	5,26	156	9	10,26	284
5,0	1	8,00	222	11	6,44	186	9	5,41	160	9	9,04	254
5,5	1	7,12	202	11	5,55	164	9	4,54	138	9	7,78	223
6,0	1	6,30	179	11	5,31	157	9	4,32	133	9	6,54	192
PD	1			11			9			9		
ID	4,0			4,0			4,0			4,0		
TM	487°C			443°C			365°C			544°C		
ITM	3,5			4,0			3,5			3,5		
Pi	842			853			799			882		
Pf	804 (38)			798 (55)			782 (17)			844 (38)		

N- número do corpo de prova

t- tempo de ensaio (minutos)

P- perda de massa medidas na tabela em %

Pi- massa inicial da barra antes do ensaio

Pf- massa final da barra depois de ensaiada

mV- medição do termopar no topo do tubo em microvolts

T- temperatura no topo do tubo em °C

PD- Perda de massa

ID- Instante em que as chamadas desaparecem (minutos)

TM- temperatura máxima obtida em °C

ITM- Instante em que a temperatura máxima ocorre (minutos)

()- Diferença das pesagens ($P_i - P_f$)

Tabela A-31- Ensaio do Tubo de Fogo dos corpos de prova de traço 15% com Temp. inicial = 28,5°C = 1122 (CP 01, 02, 03), e, para o CP 04, Temp. inicial = 32°C = 1285.

N	TRAÇO 15%											
	01			02			03			04		
t	P	mV	T	P	mV	T	P	mV	T	P	mV	T
0,5	0	13,01	346	0	14,77	388	0	18,92	486	1	13,87	371
1,0	0	14,41	379	4	16,36	425	4	20,80	530	2	16,05	422
1,5	0	15,85	414	4	17,40	451	6	22,70	575	4	16,98	444
2,0	0	16,74	435	5	16,49	476	8	23,54	594	5	17,43	455
2,5	0	17,24	447	6	19,36	496	8	23,84	601	5	17,67	460
3,0	1	17,08	443	7	15,70	411	8	25,41	638	6	17,71	461
3,5	1	17,02	442	8	15,30	401	9	25,48	640	7	17,84	465
4,0	1	17,32	448	9	19,86	508	9	25,91	650	8	17,69	461
4,5	1	8,74	243	9	6,80	195	10	7,86	221	8	8,72	247
5,0	1	8,05	240	10	5,08	152	10	7,24	205	8	8,50	241
5,5	1	7,28	207	11	5,13	153	10	6,35	183	8	7,42	214
6,0	2	6,96	198	11	5,06	151	10	5,69	167	8	6,10	181
PD	2			11			10			8		
ID	4,0			4,0			4,0			4,0		
TM	448°C			508°C			650°C			461°C		
ITM	4,0			4,0			4,00			4,0		
Pi	895			842			811			887		
Pf	854 (41)			799 (43)			786 (25)			852(35)		

N- número do corpo de prova

t- tempo de ensaio (minutos)

P- perda de massa medidas na tabela em %

Pi- massa inicial da barra antes do ensaio

Pf- massa final da barra depois de ensaiada

mV- medição do termopar no topo do tubo em microvolts

T- temperatura no topo do tubo em °C

PD= Perda de massa

ID- Instante em que as chamadas desaparecem (minutos)

TM- temperatura máxima obtida em °C

ITM- Instante em que a temperatura máxima ocorre (minutos)

()- Diferença das pesagens ($P_i - P_f$)

Tabela A-32- Ensaio do Tubo de Fogo dos corpos de prova de traço 20% com Temp. inicial = 28,5°C = 1122 (CP 01, 02, 03), e, para o CP 04, Temp. inicial = 32°C = 1285.

[illegible]

N- número do corpo de prova

t = tempo de ensaio (minutos)

P- perda de massa medidas na tabela em %

Pi- massa inicial da barra antes do ensaio

Pf- massa final da barra depois de ensaiada

mV- medição do termopar no topo do tubo em microvolts

T- temperatura no topo do tubo em °C

PD= Perda de massa

ID- Instante em que as chamas desaparecem (minutos)

TM- temperatura máxima obtida em °C

ITM- Instante em que a temperatura máxima ocorre (minutos)

() - Diferença das pesagens ($P_i - P_f$)

Tabela A-34- Ensaio do Tubo de Fogo dos corpos de prova de traço 30%, com Temp inicial = 31°C = 1244 (CP 01 e 02), e, para os CP 03 e 04, Temp. inicial = 32°C = 1285.

N	TRAÇO 30%											
	01			02			03			04		
t	P	mV	T	P	mV	T	P	mV	T	P	mV	T
0,5	1	17,83	463	1	16,19	424	0	15,99	418	1	21,52	550
1,0	2	20,93	536	2	20,78	532	2	19,97	514	1	23,45	596
1,5	4	22,58	574	3	22,01	561	3	21,02	539	2	21,24	544
2,0	5	23,83	604	5	24,54	621	5	23,03	586	3	22,95	584
2,5	7	24,69	624	7	25,25	637	6	23,75	603	5	23,19	590
3,0	9	27,14	682	8	24,81	627	7	23,96	608	6	13,15	589
3,5	10	27,19	683	10	23,87	605	8	24,22	614	7	22,45	572
4,0	11	25,89	653	11	23,67	601	10	23,95	608	9	22,09	564
4,5	12	11,26	308	12	11,63	316	10	10,45	288	9	10,02	278
5,0	13	9,97	276	12	10,32	285	10	8,35	237	10	8,43	239
5,5	14	9,14	256	13	9,29	259	11	7,69	221	11	7,32	212
6,0	14	8,39	237	13	8,65	243	11	7,12	207	11	6,72	197
PD	14			13			11			11		
ID	4,0			4,0			4,0			4,0		
TM	683°C			637°C			614°C			590°C		
ITM	3,5			2,5			3,5			2,5		
Pi	774			736			796			828		
Pf	721 (53)			689 (47)			741 (55)			790 (38)		

N- número do corpo de prova

t- tempo de ensaio (minutos)

P- perda de massa medidas na tabela em %

Pi- massa inicial da barra antes do ensaio

Pf- massa final da barra depois de ensaiada

mV- medição do termopar no topo do tubo em microvolts

T- temperatura no topo do tubo em °C

PD- Perda de massa

ID- Instante em que as chamas desaparecem (minutos)

TM- temperatura máxima obtida em °C

ITM- Instante em que a temperatura máxima ocorre (minutos)

()- Diferença das pesagens ($P_i - P_f$)

Tabela A-36- Resultados no Ensaio de Tubo de Fogo para a Peroba Rosa.

N	01		02		03		04	
t	P	T	P	T	P	T	P	T
0,5	2,0	155	1,0	143	1,0	145	2,0	160
1,0	3,0	207	3,0	187	2,0	193	4,0	197
1,5	7,0	260	6,0	231	6,0	243	8,0	257
2,0	12,0	312	10,0	290	11,0	310	14,0	353
2,5	18,0	433	17,0	385	18,0	443	23,0	526
3,0	27,0	652	26,0	587	27,0	697	33,0	759
3,5	37,0	746	36,0	748	38,0	768	46,0	825
4,0	48,0	798	48,0	818	49,0	851	57,0	866
4,5	58,0	808	58,0	831	59,0	835	72,0	837
5,0	67,0	819	66,0	831	68,0	827	82,0	833
5,5	74,0	607	74,0	825	75,0	825	86,0	830
6,0	78,0	585	79,0	784	79,0	546	90,0	474
6,5	94,0	301	93,0	256	96,0	247	91,0	325
7,0	94,0	144	93,0	117	96,0	126	91,0	157
7,5								
PD	94,0		93,0		96,0		91,0	
ID	6,26		6,23		6,35		6,27	
TM	819		831		851		866	
ITM	5,00		5,00		4,00		4,00	

Fonte: AGUILLAR FILHO (1986).

- N Número do corpo de prova
t Tempo de ensaio decorrido (minutos)
P Perda de massa em (%)
T Temperatura no topo do tubo em °C
PD Perda de massa quando as chamas desaparecem (%)
ID Instante em que as chamas desaparecem (minutos)
TM Temperatura máxima obtida em °C
ITM Instante em que a temperatura máxima ocorre (minutos)

Tabela A-37- Resultados no Ensaio de Tubo de Fogo para o traço 1:4.

N	01		02		03	
	P	T	P	T	P	T
0,5	3,0	83	1,0	90	1,0	87
1,0	4,0	104	2,0	102	3,0	109
1,5	4,0	132	3,0	123	3,0	119
2,0	5,0	146	4,0	129	4,0	137
2,5	6,0	150	4,0	137	5,0	146
3,0	7,0	157	5,0	139	6,0	151
3,5	8,0	166	6,0	142	7,0	169
4,0	8,0	166	7,0	115	7,0	132
4,5	8,0	132	7,0	90	7,0	106
5,0	8,0	104	7,0	77	7,0	92
5,5	8,0	82	7,0	65	7,0	80
6,0	8,0	75	7,0	61	7,0	63
6,5	8,0	67	7,0	60	7,0	60
7,0						
7,5						
PD	8,0		7,0		7,0	
ID	9,28		10,01		10,45	
TM	166		142		169	
ITM	9,32		10,04		10,49	

Fonte: NOLASCO (1993).

- N Número do corpo de prova
t Tempo de ensaio decorrido (minutos)
P Perda de massa em (%)
T Temperatura no topo do tubo em °C
PD Perda de massa quando as chamas desaparecem (%)
ID Instante em que as chamas desaparecem (minutos)
TM Temperatura máxima obtida em °C
ITM Instante em que a temperatura máxima ocorre (minutos)

TRAÇO 0%

Universidade Federal de São Carlos

Departamento de Engenharia de Materiais
Laboratório de Propriedades Térmicas

Dados da Amostra

Nome da Amostra: Adobe Traco 0%
Interessado: Rosane
Material: Isolante (0,05 ~ 0,25)

Dados Finais de Ensaio

Corrente na Amostra: 4,023 A
Estimativa inicial: 0,15
Intervalo de Tempo: 120,5s a 602,4s

Dados Preliminares de Ensaio

Tempo de Ensaio: 12 min
Temperatura Ambiente: 22 °C
Temperatura da Amostra: 00,04 mV
Tipo de Termopar: Cr-Al
Resistência do Fio: 6,49 Ohms
Densidade da Amostra: 1840 Kg/m³
Distância Fio-Termopar: 0,0155 m

Resultados

Amostra: Adobe Traco 0%
Temperatura de ensaio: 22,0 °C
Condutividade Térmica: 1,3182 W/mK
Calor Específico: 437,3794 J/KgK
Difusividade Térmica: 1,6380E-06 m²/s
Coeficiente de Correlação: 0,99978

TRAÇO 10%

Universidade Federal de São Carlos

Departamento de Engenharia de Materiais
Laboratório de Propriedades Térmicas

Dados da Amostra

Nome da Amostra: Adobe Traco 10%
Interessado: Rosane
Material: Isolante (0,05 ~ 0,25)

Dados Finais de Ensaio

Corrente na Amostra: 4,113 A
Estimativa inicial: 0,15
Intervalo de Tempo: 120,7s a 602,4s

Dados Preliminares de Ensaio

Tempo de Ensaio: 15 min
Temperatura Ambiente: 23 °C
Temperatura da Amostra: 00,03 mV
Tipo de Termopar: Cr-Al
Resistência do Fio: 6,49 Ohms
Densidade da Amostra: 1740 Kg/m³
Distância Fio-Termopar: 0,0155 m

Resultados

Amostra: Adobe Traco 10%
Temperatura de ensaio: 23,0 °C
Condutividade Térmica: 1,0714 W/mK
Calor Específico: 626,4456 J/KgK
Difusividade Térmica: 9,8290E-07 m²/s
Coeficiente de Correlação: 0,99974

TRAÇO 15%

Universidade Federal de São Carlos

Departamento de Engenharia de Materiais
Laboratório de Propriedades Térmicas

Dados da Amostra

Nome da Amostra: Adobe Traco 15%
Interessado: Rosane
Material: Isolante (0,05 ~ 0,25)

Dados Finais de Ensaio

Corrente na Amostra: 4,005 A
Estimativa inicial: 0,15
Intervalo de Tempo: 088,9s a 597,6s

Dados Preliminares de Ensaio

Tempo de Ensaio: 12 min
Temperatura Ambiente: 22 °C
Temperatura da Amostra: 00,02 mV
Tipo de Termopar: Cr-Al
Resistência do Fio: 6,49 Ohms
Densidade da Amostra: 1710 Kg/m³
Distância Fio-Termopar: 0,0155 m

Resultados

Amostra: Adobe Traco 15%
Temperatura de ensaio: 22,0 °C
Condutividade Térmica: 1,0231 W/mK
Calor Específico: 513,2119 J/KgK
Difusividade Térmica: 1,1660E-06 m²/s
Coeficiente de Correlação: 0,99974

TRAÇO 20%

Universidade Federal de São Carlos

Departamento de Engenharia de Materiais
Laboratório de Propriedades Térmicas

Dados da Amostra

Nome da Amostra: Adobe Traco 20b%
Interessado: Rosane
Material: Isolante (0,05 ~ 0,25)

Dados Finais de Ensaio

Corrente na Amostra: 4,118 A
Estimativa inicial: 0,15
Intervalo de Tempo: 118,6s a 606,2s

Dados Preliminares de Ensaio

Tempo de Ensaio: 12 min
Temperatura Ambiente: 20 °C
Temperatura da Amostra: 00,01 mV
Tipo de Termopar: Cr-Al
Resistência do Fio: 6,49 Ohms
Densidade da Amostra: 1600 Kg/m³
Distância Fio-Termopar: 0,015 m

Resultados

Amostra: Adobe Traco 20b%
Temperatura de ensaio: 20,0 °C
Condutividade Térmica: 0,9164 W/mK
Calor Específico: 465,6714 J/KgK
Difusividade Térmica: 1,2300E-06 m²/s
Coeficiente de Correlação: 0,99984

TRAÇO 25%

Universidade Federal de São Carlos

Departamento de Engenharia de Materiais
Laboratório de Propriedades Térmicas

Dados da Amostra

Nome da Amostra: Adobe Traco 25%
Interessado: Rosane
Material: Isolante (0,05 ~ 0,25)

Dados Finais de Ensaio

Corrente na Amostra: 4,004 A
Estimativa inicial: 0,15
Intervalo de Tempo: 158,7s a 599,5s

Dados Preliminares de Ensaio

Tempo de Ensaio: 12 min
Temperatura Ambiente: 24 °C
Temperatura da Amostra: 00,13 mV
Tipo de Termopar: Cr-Al
Resistência do Fio: 6,49 Ohms
Densidade da Amostra: 1610 Kg/m³
Distância Fio-Termopar: 0,015 m

Resultados

Amostra: Adobe Traco 25%
Temperatura de ensaio: 27,0 °C
Condutividade Térmica: 0,7916 W/mK
Calor Específico: 703,8018 J/KgK
Difusividade Térmica: 6,9860E-07 m²/s
Coeficiente de Correlação: 0,99977

TRAÇO 30%

Universidade Federal de São Carlos

Departamento de Engenharia de Materiais
Laboratório de Propriedades Térmicas

Dados da Amostra

Nome da Amostra: Adobe Traco 30b%
Interessado: Rosane
Material: Isolante (0,05 ~ 0,25),

Dados Finais de Ensaio

Corrente na Amostra: 4,119 A
Estimativa inicial: 0,15
Intervalo de Tempo: 118,6s a 598,6s

Dados Preliminares de Ensaio

Tempo de Ensaio: 12 min
Temperatura Ambiente: 20 °C
Temperatura da Amostra: 00,01 mV
Tipo de Termopar: Cr-Al
Resistência do Fio: 6,49 Ohms
Densidade da Amostra: 1510 Kg/m³
Distância Fio-Termopar: 0,015 m

Resultados

Amostra: Adobe Traco 30b%
Temperatura de ensaio: 20,0 °C
Condutividade Térmica: 0,7699 W/mK
Calor Específico: 411,0902 J/KgK
Difusividade Térmica: 1,2400E-06 m²/s
Coeficiente de Correlação: 0,99989

TRAÇO 40%

Universidade Federal de São Carlos
Departamento de Engenharia de Materiais
Laboratório de Propriedades Térmicas

Dados da Amostra

Nome da Amostra: Adobe Traco 40%
Interessado: Rosane
Material: Isolante (0,05 ~ 0,25)

Dados Preliminares de Ensaio

Tempo de Ensaio: 12 min
Temperatura Ambiente: 22 °C
Temperatura da Amostra: 00,04 mV
Tipo de Termopar: Cr-Al
Resistência do Fio: 6,49 Ohms
Densidade da Amostra: 1370 Kg/m³
Distância Fio-Termopar: 0,0155 m

Dados Finais de Ensaio

Corrente na Amostra: 4,011 A
Estimativa inicial: 0,15
Intervalo de Tempo: 119,5s a 600,5s

Resultados

Amostra: Adobe Traco 40%
Temperatura de ensaio: 22,0 °C
Condutividade Térmica: 0,6121 W/mK
Calor Específico: 687,3887 J/KgK
Difusividade Térmica: 6,5000E-07 m²/s
Coeficiente de Correlação: 0,99982

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
REITORIA
INSTITUTO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS – IPMet

Cont. INFOTEC N° 151/02

Precipitação (mm), coletada na Estação Meteorológica do Instituto de Pesquisas Meteorológicas – IPMet, localizada na cidade de Bauru / SP. Latitude : 22° 21' 30" / Longitude : 49° 01' 37"

ANO: 2001												
	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro
1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.5
2	0	0	0	5.5	0	0	0	0	0	42	0	0.0
3	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0.4	2.0	0.0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.5	0.0
5	6	25	0	0	0	0	0	0	0	0	3.4	0.0
6	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0.0	39.0
7	62.5	5.3	10	0	0	0	0	0	0	0	0.0	4.0
8	0	0	16	0	0	0	0	0	0	11	0.0	0.5
9	7.4	49.5	18.6	0	0	0	0	0	0	12.7	0.0	4.0
10	4	26.5	25	0	0	2.2	0	0	0	9	0.0	37.0
11	0.5	0.8	4.1	0	0	0	0	0	0	0.5	0.0	0.0
12	0	12.5	0	0	1.2	0	4	0	0	0	52.7	8.0
13	0.9	1.5	5.3	0	27.5	0	0	0	6	0	2.0	0.0
14	0	27.6	0	0	0	0	0	0	12.6	0	1.4	42.5
15	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	8.5	27.6
16	12.4	0	0	0	3.4	0	0	0	0	0	0.3	8.0
17	0	55	0	0	27.5	0	0	0	0	0	0.0	0.0
18	0	0.1	0	0	0.3	3	0	0	0	40	27.5	0.0
19	0.5	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0.0	0.0
20	30.4	0	0	0	0	0	0	0	0	7.6	30.0	0.0
21	4.5	0	18.1	0	0	1.1	0	1.8	3.6	0	0.0	7.5
22	0	0	0	6	0	0	0	1.2	7	27.5	0.0	34.0
23	0	0	0	1.2	1	0	0	0	0	0	0.0	20.0
24	7	3.6	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0.9	0.0
25	27.6	0	0.6	0	0	0	14.5	0	5	0	0.0	0.0
26	82.5	14	0	0	0	3	1.3	0	1.4	0	0.0	0.0
27	0	1	0	0	14.5	34	2.9	5.4	0	0	0.0	0.0
28	24	0	0	0	13	0	18.7	0.1	0	0	0.0	0.0
29	87.3		22	0	0	0	0	0	0	0	4.4	69.0
30	0		0	0	9	0	0	0		0	6.0	13.5
31	3.7		0		0.3		0	0		0.7		0.0
Total	361.2	230.4	126.7	13.2	97.7	52.3	41.8	8.5	35.6	151.4	151.6	321.1

Zildene Pedrosa de Oliveira Emílio
Meteorologista - CREA - 060183784028

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
REITORIA
INSTITUTO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS – IPMet

Cont. INFOTEC Nº 151/02

Precipitação (mm), coletada na Estação Meteorológica do Instituto de Pesquisas Meteorológicas
– IPMet, localizada na cidade de Bauru / SP. Latitude : 22° 21' 30" / Longitude : 49° 01' 37"

ANO 2002

	janeiro	fevereiro	março	Abril	maio	Junho	julho	agosto	setembro
1	0.0	0.0	43.0	0.0	4.8	0.0	0.0	2.0	3.6
2	18.5	47.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.4	0.0
3	0.0	0.3	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	22.8	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.6	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.4	11.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5
8	0.1	9.8	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	62.2	10.5	1.8	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
10	7.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0
12	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0
13	58.0	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	78.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
15	12.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	27.5	17.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
17	0.5	12.1	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	17.6	0.0	0.0	0.0	0.0
20	6.0	0.0	0.0	0.0	9.4	0.0	0.0	0.0	3.4
21	10.0	13.5	6.0	0.0	19.5	0.0	2.8	0.0	9.6
22	0.0	27.5	0.0	0.0	8.0	0.0	22.5	0.0	2.0
23	4.2	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	3.3
24	0.3	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
25	0.0	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
26	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
27	0.0	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
28	30.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
29	14.0	***	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
30	0.0	***	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	
31	0.8	***	0.0	***	0.0	***	0.0	0.0	
total	352.8	191.9	68.8	13.4	97.1	0.0	31.9	55.4	

Zildene Pedrosa de Oliveira Emílio
Meteorologista - CREA - 06018378-40/SR

Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Laboratório de Segurança ao Fogo/AISF/DEC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 890 878

Cliente: Rosane Aparecida Gomes Battistelle
UNESP – Campus de Bauru
Av. Dr. Edmundo Coube s/n
17033-360 – Bauru/SP

Material: Solo com fibras celulósicas.

Natureza do Trabalho: Verificação da incombustibilidade.

Referência: Ofício nº 05/02-FDB datado de 18.04.2002.

Amostra: AISF/LSF-275/01.

1 AMOSTRA

Foi entregue o material denominado "Tijolo de Adobe" com as seguintes características determinadas por este laboratório:

- massa específica aparente: 1,6 kg/m³;
- coloração: marrom.

Segundo informações do Cliente o material tratava-se de tijolo de barro seco ao sol e era composto por solo do município de Bauru/SP (predominantemente arenoso) e por lodo residual da indústria VCP – Votorantim Celulose e Papel do município de Jacareí/SP. Foi utilizado uma quantidade de 10% em volume de resíduo (Traço 10%).

2 MÉTODO UTILIZADO

ISO 1182/1990 – "Fire tests – Building Materials – Non-combustibility test".

Procedimento de Ensaio DEC-LSF-PE 003 – "Ensaio de incombustibilidade para materiais utilizados na construção".

3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

- Forno para ensaio de incombustibilidade (identificação EQ-004);
- Registrador digital microprocessado Yokogawa µR1000 modelo 436004 (identificação: RG-12, última calibração 26.01.2001, certificado de calibração nº 0072/01, órgão calibrador: Yokogawa, próxima calibração: 01.2003);
- Balança digital Mettler modelo PB-3000 (identificação: BL-001, última calibração: 14.03.2001, certificado de calibração nº 38347, órgão calibrador: IPT/DME/LME, próxima calibração: 03.2003);
- Cronômetro digital Mondaine (identificação: CR-003, última calibração: 11.1999; certificado de calibração nº 32204, órgão calibrador: IPT/DME/LME, próxima calibração: 11.2001);

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao espécime ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Form. 1357

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A - IPT
Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Cidade Universitária - Butantã - 05508-901 - São Paulo - SP - Tel.: (11) 3767-4000 - www.ipt.br
Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC - Tel.: (11) 3767-4128, 3767-4456 e 3767-4744 - Fax: (11) 3767-4802 - saug@ipt.br

Figura 128- Laudo do Laboratório de Segurança ao Fogo para o traço 10% (página 01).

- Régua metálica 600mm marca Hope (identificação: RG-001, última calibração: 05.2001, certificado de calibração nº 39135, órgão calibrador: IPT/DME/LME, próxima calibração: 05.2003).

4 RESULTADO

Ensaio realizado em 18.10.2001.

Temperatura inicial do forno (T_i): 761 °C.

Termopar	Temperatura máxima - $T_{máx}$ (°C)	Temperatura final - T_f (°C)	$T_{máx} - T_i$ (°C)	$T_{máx} - T_f$ (°C)
1	774	774	13	0
2	776	776	15	0
3	768	768	7	0
Material classificado como "Combustível"				

Notas: (a) Os valores da tabela acima referem-se à média de cinco corpos-de-prova;

(b) Termopar 1 - localizado a 10 mm da parede do forno;

Termopar 2 - localizado na superfície lateral do corpo-de-prova;

Termopar 3 - localizado no centro geométrico do corpo-de-prova.

- Perda média de massa: 4,2%;

- Tempo médio de chamejamento: 164 s.

5 LIMITES ESPECIFICADOS

O Anexo A da norma ISO 1182/1990 propõe os seguintes critérios para a classificação dos materiais como incombustíveis:

- a elevação da temperatura (média dos cinco corpos-de-prova) do termopar do forno (termopar 1) não deve exceder de 50°C de sua temperatura média inicial;
- a tempo médio de chamejamento (média dos cinco corpos-de-prova) não deve exceder 20 segundos;
- a perda média de massa (média dos cinco corpos-de-prova) não deve exceder 50%.

Os resultados obtidos em ensaio classificam o material como "Combustível".

São Paulo, 01 de julho de 2002.

DIVISÃO DE ENGENHARIA CIVIL
Agrupamento de Instalações Prediais, Saneamento
Ambiental e Segurança ao Fogo

Engenheiro Mestre Antonio Fernando Berto
Responsável pelo Laboratório
CREA 74.656/D - NRE 2467-9

DIVISÃO DE ENGENHARIA CIVIL
Agrupamento de Instalações Prediais, Saneamento
Ambiental e Segurança ao Fogo

Engenheiro Mestre José Carlos Tomina
Chefe de Agrupamento
CREA 168.614/D - NRE 1231-0

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao espécime ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A - IPT
Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Cidade Universitária - Butantã - 05508-901 - São Paulo - SP - Tel.: (11) 3767-4869 - www.ipt.br
Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC - Tel.: (11) 3767-4126, 3767-4456 e 3767-4744 - Fax: (11) 3767-4892 - sac@ipt.br

Fom. 102.7

Figura 129- Laudo do Laboratório de Segurança ao Fogo, para o traço 10% (página 02).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGNELLI, N. (1997). *Comportamento de um solo colapsível inundado com líquidos de diferentes composições químicas*. São Carlos. 205 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- AGOPYAN, V. (1988). Estudos dos materiais de construção civil: materiais alternativos. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Tecnologia de edificações*. 1.ed. São Paulo, Construtora Lix da Cunha S.A/ PINI/ IPT, Divisão de Edificações, p. 75-78. (Coletânea de trabalhos).
- AGOPYAN, V. & DEROLLE, A. (1988). Materiais de construção reforçados com fibras: uso do papel imprensa In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Tecnologia de edificações*. 1.ed. São Paulo, Construtora Lix da Cunha S.A/ PINI/ IPT, Divisão de Edificações, p. 35-38. (Coletânea de trabalhos).
- AGOPYAN, V. (1991). *Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais*. São Paulo, 204 p. Tese (Livre-docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- AGOPYAN, V.; JOHN, V. M.; DEROLLE, A. (1990). Construindo com fibras vegetais. *Revista Construção*, São Paulo, n. 2200, p. 17-20.
- AGOPYAN, V.; SAVASTANO Jr., H. (1998). A experiência brasileira com as fibras vegetais. *Revista Técnica*, p.38-43.
- AGUILLAR FILHO, D. (1986). *Combustibilidade e tratamento ignífero da madeira*. São Carlos. 98p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (1986). *EC-4 – Solo-cimento na habitação popular*. 3.ed. São Paulo. 10p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983). *NBR 6460/83 – Tijolo maciço cerâmico para alvenaria: verificação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro, 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983). *NBR 7170/83 – Tijolo maciço cerâmico para alvenaria*. Rio de Janeiro, 4p.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984a). *NBR 7181/84 – Solo: análise granulométrica, método de ensaio*. Rio de Janeiro, 13p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984b). *NBR 6459 – Solo: determinação do limite de liquidez, método de ensaio*. Rio de Janeiro, 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984c). *NBR 8492/84 – Tijolo maciço de solo cimento: determinação da resistência á compressão e da absorção de água, método de ensaio*. Rio de Janeiro, 5p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1987). *NBR 9776/97 – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman*. Rio de Janeiro, 4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1987). *NBR 10.004 – Resíduos sólidos: classificação*. São Paulo, 63 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1987). *NBR 10.005 – Lixiviação de resíduos*. São Paulo, 10 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1987). *NBR 10.006 – Solubilização de resíduos*. São Paulo, 2 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992). *NBR 7171/92 – Bloco cerâmico para alvenaria*. Rio de Janeiro, 8p.
- BARDOU, P. & ARZOUMA V. (1979). *Arquitecturas de adobe: tecnologia y arquitectura*. Barcelona, Editorial Gustavo Gilli, 165 p.
- BARRIOS, G.; ALVAREZ, L.; ARCOS, H.; MARCHANT, E.; ROSI, D. (1986). Comportamiento de los suelos para la confección de adobes. *Rev. Informes de la Construccion: la tierra, material de construcción*. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, v. 37, n. 377, p. 43-49.
- BECKER, D. F.; ALMEIDA, A.; GOMES, W. H. & MULLER, G. (1999). *Desenvolvimento sustentável: necessidade e/ou possibilidade*. 2.ed. Santa Cruz do Sul, EDUNISC, 238p.
- BRACELPA (1998). *Relatório Anual da Associação Brasileira de Celulose e Papel*. São Paulo, BRACELPA, 16p.
- BRACELPA (1999). *Relatório Anual da Associação Brasileira de Celulose e Papel*. São Paulo, BRACELPA, 17p.
- CAMARGO, A. (1995). Minas de entulho. *Revista Técnica*, n. 15, p. 15-18.

- CINCOTTO, M. A. (1988). Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Tecnologia de edificações*. 1.ed. São Paulo, Construtora Lix da Cunha S.A/ PINI/ IPT, Divisão de Edificações, p. 71-74. (Coletânea de trabalhos).
- CENTRE INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCTION EM TERRE (1994). Des constructions en terre dans le monde. Villefontaine, École d'Architecture de Grenoble (CRATerre-EAG).
<http://www.craterre.archi.fr/craterre/fraçais/diffusion/librairie/diapos.html> (12 jun. 2000).
- CENTRE INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCTION EM TERRE (2002) École d'Architecture de Grenoble (CRATerre-EAG).
<http://www.craterre.archi.fr/craterre> (20 ago. 2002).
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1992). *Água: métodos de avaliação da toxicidade de poluentes aos organismos aquáticos*. São Paulo, 28p. (Série 1 – didática).
- DARÉ, C. A. N. (2001). *Comportamento térmico dos materiais de construção e sua influência no desempenho térmico das construções*. (Monografia da disciplina Conforto Térmico, apresentada no curso de Pós Graduação em Agronomia da UNESP, campus de Botucatu).
- DETHIER, J. (1993). *Arquitetura de terra, ou o futuro de uma tradição milenar*. Europa , terceiro mundo, Estados Unidos. 10. ed. Lisboa, Litografia Tejo.
- DETHIER, J. (2000). *O futuro da arquitetura de terra*
<http://www.arquitetofna.org.br/toniarq.html> (02 set. 2000).
- DIAZ, M. J. G. (1987). *La tierra, material resistente al agua*. Madrid, Instituto Eduardo Torroja, p. 25-30. (Monografia nº 385/386).
- DI MARCO, A. R. (1984a). Pelos caminhos da terra. *Revista Projeto*, n. 65, p. 47-52 jul.
- DI MARCO, A. R. (1984b). Uma nova alternativa para a habitação popular. *Revista Projeto*, n. 65, p.58-59, jul.
- FARIA, O. B. (2000). *Utilização alternativa de macrófitas aquáticas: um estudo de caso na represa de Salto Grande (Americana-SP)*. São Carlos, Centro de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São

- Carlos, Universidade de São Paulo. (projeto de pesquisa para o exame de qualificação de doutorado).
- FARIA, O. B.; BATTISTELLE, R. A. G. (2000). *Avaliação do teor de argila no solo sobre a resistência mecânica de tijolos de adobe*. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: Modernidade e Sustentabilidade, 8., Salvador, Resumos, Salvador, ANTAC, p. 396.
- FARIA, O. B.; BATTISTELLE, R. A. G. & BILOTTA, P. (1998). *Resíduos sólidos: fontes alternativas*. São Carlos, Centro de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. (Monografia de disciplina).
- FATHY, H. (1976). *Architecture for the poor: an experiment in rural Egypt*. Chicago, University of Chicago. 233p.
- FERRAZ JUNIOR, F. C. (1996). *Produção de tijolos prensados de solo-cimento e de solo-cal reforçados com o bagaço de cana-de-açúcar*. São Carlos. 99 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- FERNANDES, A. E. P. (2001). As torres envidraçadas e o consumo energético. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., Canela. *Anais*, v.1, p. 315-322.
- HELENE, M. E. M. & BICUDO, M. B. (1994). *Sociedades sustentáveis*. São Paulo, Ed. Scipione, p. 24-28.
- HOUBEN, H. (1997). Pour une architecture nouvelle. *Ecodecision-Environnement e Politiques*, n. 25, p. 27-28.
- INTERNATIONAL STANDARD. (1990). ISO 1182/90 – Fire test, building materials, non combustibility test. Geneva, 19p.
- JOHN, V. M. (2000). *Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. São Paulo. 113p. Tese (Livre-docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- JOHN, V. M. (2001). Construção e desenvolvimento sustentável. *Revista Qualidade na Construção*, n. 27, ano III, p. 34-44.
- MAINE, S. (1997). *Identificação de solos para construir em terra*. Santa Bárbara d'Oeste, Unimep, 12p. (notas de aula da disciplina Sistemas Construtivos).
- MARITONI, C. A. & SOARES, R. S. (1998). Aspectos energéticos dos resíduos do município de Paulínia, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

- PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 3., São Paulo, 1998. *Anais* (CD-ROM). São Paulo, Ministério das Minas e Energia.
- MARTINELLI, S. (1985). Bolsa de resíduos. In: ENCONTRO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS, 1., Porto Alegre. *Anais*. p.27-32.
- McHENRY Jr., P.G. (1999). Adobe: a timeless solution. *Arid Lands Newsletter: desert architecture for a new millennium*. Arizona, n. 47. <http://ag.arizona.edu/OALS/ALN/aln47/mchenry.html> (02 ago. 2002).
- MILANEZ, A. (1958). *Casa de terra: as técnicas de estabilização do solo a serviço do homem do campo*. 1.ed. Rio de Janeiro, Serviço Especial de Saúde Pública, Ministério da Saúde, 122p.
- MINKE, G. (1995). *Experimentelles bauen*. Kassel. Okobuch, Germany. 100p.
- MINKE, G. (2001). *Manual de construccion em tierra: la tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual*. Montevideo, Nordan-Comunidad. 222p.
- MITCHELL, S. S.; LEVAN, S. L.; WHITE, R. H.; TRAN, H. C.; GROOT, R. (1996). *Fire performance of wood treated with combined fire-retardant and preservative systems*. Madison, Forests Service/ Forest Products Laboratory, 10 p.
- MITIDIERI, M. L. (1998). *Proposta de classificação de materiais e componentes construtivos com relação ao comportamento frente ao fogo: reação ao fogo*. São Paulo. 147p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- NEVES, C. M. M. (2000). A terra como material de construção, ensaios de campo e de laboratório. In: JORNADA IBEROAMERICANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE VIVENDA POPULAR CONSIDERANDO CONDICIONES SÍSMICAS, 1., Guatemala, Rede Habiterra.
- NOLASCO, A. M. (1993). *Utilização de resíduos da indústria de papel na produção de materiais para a construção civil*. São Carlos. 164p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- NOLASCO, A. M. (1998). *Adobe: como produzir o tijolo sem queima reforçado com a fibra de bananeira*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Divisão de Biblioteca e Documentação. n. 11, 24p. (Série produtor rural).

- ORTEGA, E. (1997). Propostas de financiamento habitacional para ampliação do mercado. In: WORKSHOP HABITAÇÃO: COMO AMPLIAR O MERCADO? Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
- PORTA-GÁNDARA, M. A., RUBIO, E.; FERNANDEZ, J. L. (2001). Economic feasibility of passive ambient comfort in Baja Califórnia dwellings. *Building and Environment*. <http://www.elsevier.com/locate/buildenv> (11 jul. 2002)
- RATTNER, H. (2000). *Tecnologia e desenvolvimento sustentável*. <http://www.uesb.br/adusb/textos/sustentavel.html>. (07 ago 2000).
- REZENDE, A. B. (1995). *A indústria da construção civil: um caso crônico de desperdício em Bauru*. Bauru. 38p. Monografia (Graduação) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista.
- ROMERAL, J. D.; GUÍNEA, M. J.; ERHARD, R.; SALAS, J. (1986). Primeiros resultados del trabajo de investigacion sobre la terra como material de construccion en el IETcc. *Revista Informes de la Construcción*, v. 36, n. 377, p. 5-21.
- SACHS, I. (2000). *O direito ao desenvolvimento sustentável*. <http://www.france.org.br/abr/label/Label39/dossier/03droit.html> (07 ago. 2000).
- SANTI, A. M. M.; SEVÁ-FILHO, A. O. (1998). Análise do emprego de resíduos como combustíveis complementares em indústrias de cimento no Sudeste do Brasil: anos 1980-1990. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 3., São Paulo, 1998. *Anais*. (CD-ROM). São Paulo, Ministério das Minas e Energia.
- SANTOS, W. N. (2000). Experimental investigation of the effect of moisture on thermal conductivity and specific heat of porous ceramic materials. *Journal of Materials Science*, n. 35, p. 3977-3982.
- SANTOS, W. N.; CINTRA FILHO, J. S. (1986). Método de fio quente com ajuste por regressão não linear na determinação da condutividade térmica de materiais cerâmicos. *Revista Cerâmica*, Rio de Janeiro, v. 32, n. 198, p.151-198, jul.
- SAVASTANO JR., H. (2000). *Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo*. São Paulo. 144p. Tese (Livre-docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SCHALCH, V.; LEITE, W.C.A.; FERNANDES JR., J.L.; CASTRO, M.C.A.A. (2001). *Gerenciamento de resíduos sólidos*. 169 p. (Apostila da disciplina Impactos Ambientais e Resíduos Sólidos).

SCHWARTZMAN S. (1999). *Consciência ambiental e desenvolvimento sustentável*.

<http://www.10minutos.com.br/simon/ambiente.html> (07 ago. 2000).

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (1998). Resolução SMA 13.

<http://www.ambiente.sp.gov.br>. (27 jul. 2002).

SILVA, M. S. da (2001). *A terra crua como alternativa sustentável para a produção de habitação social*. São Carlos. 167p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

STANDARD METHODS (1971). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 13.ed. New York, 874 p.

TROLLES, R. (2000). *Arquitetura ecológica*. Centro de Referência em Gestão ambiental para Assentamentos Humanos.

<http://www.bsi.com.br/unilivre/centro/experiencias/267.html>. (07 ago. 2000).

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALVARENGA, M. A. A. (1995). A arquitetura de terra como instrumento de desenvolvimento social. In: WORKSHOP ARQUITETURA DE TERRA CRUA, *Anais*. São Paulo, NUTAU/ Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, p.107-114.
- ASSIS, J. C. (2000). *Brasil 21: uma nova ética para o desenvolvimento*. Rio de Janeiro, Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia, 92p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1983). *NBR 7170/83 – Tijolo maciço cerâmico para alvenaria*. Rio de Janeiro, 4p.
- BATTISTELLE, R. A. G.; CABRAL, N. R. A. J.; LOPES, A. L. (2002). Análise da viabilidade dos resíduos de celulose de papel no processo produtivo de materiais de construção civil e seus aspectos energéticos. In: ESPÍNDOLA, E. L. G. et al. (eds.) *Recursos hidroenergéticos: usos, impactos e planejamento integrado*. São Carlos, Rima Editora, v. 1, p.319-330.
- BATTISTELLE, R. A. G.; FARIA, O. B.; INO, A. (2002). Estudo da ação climatológica em tijolos de adobe In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISADORES NIKKEIS, 10., 2002, São Paulo. *Scientific Journal*. São Paulo, SBPN, v. 6, p. 160-163.
- BAUER, L. A. (1994). *Materiais de construção*. 5 ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos. 2v., 935p.
- BIDONE, F. R. A. & POVINELLI, J. (1999). *Conceitos básicos de resíduos sólidos*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 120p.
- BIOCONSTRUCTION: matériaux renouvelables. (1998). <http://www.arkam.be/ecotopie/biomat.html> (20 ago. 2002).
- BURSZTYN, M. (1994). *Para pensar o desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Brasiliense.
- CAMPOS, M. A. (2000). *O conceito de desenvolvimento sustentável: histórico*. <http://www.eca.usp.br/emalta/dessust/dshist.html> (12 set. 2000).
- CAMPOS, J. de O.; BRAGA, R. & CARVALHO, P. F. de (orgs.) (2002). *Manejo de resíduos: pressuposto para a gestão ambiental*. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal, Deplan, IGCE, Unesp. 112p.

- CAPUTO, H. P. (1978). *Mecânica dos solos e suas aplicações*. 3. ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos. v. 1, 242p.
- COELHO, E. R. C.; RODRIGUES, C. C.; BARBOSA, M. G.; NÓBREGA, S. W. (1998). *Construção civil: uma opção para utilização dos resíduos sólidos industriais*. São Carlos, Centro de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. (Monografia da disciplina Gerenciamento de resíduos sólidos).
- CONSTRUCTION en adobe (1998). <http://www.arkham.be/ecotopie/adobe.html> (20 ago. 2002).
- CONSTRUCTION em blocs de terre comprimée. (1998). <http://www.arkam.be/ecotopie/bloc.html> (20 ago. 2002).
- COSTA, C. E. da S. (2000). Comportamento físico e mecânico de tijolos cerâmicos incorporados com resíduo contendo metais pesados. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC/2000, Salvador. (CD-ROOM).
- CUNHA, U. V. L. (1978). *Terra-cimento: contribuição para o estudo da casa de baixo-custo*. São Carlos. 119 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DESTÁCIO, M. C. (2000). O conceito de desenvolvimento sustentável <http://www.eca.usp.br/ematta/meiam/dsconc.html> (02 set. 2000).
- FARIA, O. B.; BATTISTELLE, R. A. G. (2000). Avaliação do teor de argila no solo sobre a resistência mecânica de tijolos de adobe. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: Modernidade e Sustentabilidade, 8., Salvador. *Resumos...* Salvador, ANTAC, p. 396.
- FARIA, O. B.; BATTISTELLE, R. A. G. (2001). Caracterização física e mecânica de adobe com a adição de resíduo da indústria de papel e celulose. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISADORES NIKKEIS, 9., 2001, Bauru. *Scientific Journal*. São Paulo, SBPN, v. 5, p. 315-317.
- FARIA, O. B.; BATTISTELLE, R. A. G. (2001). Caracterização química e toxicológica de resíduos industriais de celulose e papel, empregados na produção de adobe. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 8.; 2001, Bauru. *Anais...* <http://www.simpep.feb.unesp.br> (27 nov. 2001).
- GARCIA, A. C. (2000). Los desafíos de la arquitectura en tierra. In: JORNADA IBEROAMERICANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE VIVENDA

- POPULAR CONSIDERANDO CONDICIONES SÍSMICAS, 1. Guatemala, Rede Habiterra.
- GUINEA, M. J. (1986). Normativa relacionada com las construcciones de tierra. *Rev. Informes de la Construcción*. Madrid, Instituto Eduardo Torroja, v. 37, n. 377, p. 69-70.
- HERTZ, J. B. (1998). *Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos tópicos*. São Paulo, Editora Pioneira, 125 p.
- INTERNATIONAL DEVELOPMENT RESEARCH CENTRE (2002). *Construirse una casa de adobe en Perú*. <http://www.crdi.ca/books/reportes/1996/38-01s.html> (02 maio 2002).
- JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. (2000). Reciclagem de resíduos da construção. In: SEMINÁRIOS DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES. São Paulo, p. 02-13.
- LES TECHNIQUES DE TERRE CRUE: l'éco-village de la paix-dieu. (1999). http://www.ecovillages.org/belgium/PaixDieu/EVPDF_TerreCrue.html (09 jul. 1999).
- LOEHR, R. C. (1977). An overview: utilization of residues from agriculture and agro-industry. In: SEMINAR ON RESIDUE UTILIZATION MANAGEMENT OF AGRICULTURAL AND AGRO-INDUSTRIAL WASTES. Rome, FAO/UNEP, p. 76-167.
- McHENRY JR., P.G. (2000). Adobe and rammed earth buildings: design and construction Arizona. <http://www.uapress.arizona.edu/samples/sam306.htm> (02 ago. 2002).
- MEUNIER, C. (1988). *Construire en terre crue: hier et aujourd'hui en Dauphiné en France dans le Monde*. Grenoble, CRATerre, 35p.
- MITIDIERI, J. et al (1987). *Taipa: pau-a-pique*. FINEP/CNPq/IBAM.
- MONTORO, P. (2002). O sal da terra. *Rev. CREA-SP*, São Paulo, ano II, n. 5, p. 8-10.
- NEVES, C. M. M. (1995). Inovações tecnológicas em construção com terra na Ibero-América. In: WORKSHOP ARQUITETURA DE TERRA CRUA, 1995, São Paulo. *Anais...* São Paulo: NUTAU, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, p.49-60.
- NEVES, C. M. M. (1998). O uso do papel jornal na argamassa para fabricação de componentes habitacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA

- DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, Florianópolis, 1998. *Anais...* v.1, p. 63-71.
- NEVES, C. M. M. (2000). O uso de fibras de celulose provenientes do papel imprensa em compósitos para produção de componentes habitacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 8., Salvador. *Anais...* Salvador, ANTAC/UFBA.
- NEVES, C. M. M. (2001). Construção com terra: passado ou modernidade. *Revista Baiana de Tecnologia*, n. 2, v. 16, p. 5.
- ORTH, M. H. C. (1985). Gerenciamento de resíduos. In: ENCONTRO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS, 1., Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, p. 49-51.
- PINTO, C. T. P. (1999). *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. São Paulo. 189 p. Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- RENÓFIO, A.; BATTISTELLE, R. A. G.; FARIA, O. B. (2001). A participação da construção civil no desenvolvimento sustentável. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISADORES NIKKEIS, 9., 2001, Bauru. *Scientific Journal*. São Paulo, SBPN, v. 5, p. 326-327.
- SALAS, J. (1986). *La tierra material de construccion*. Madrid, Instituto Eduardo Torroja, 125 p. (Monografia nº 385/386).
- SAVASTANO JR., H. LUZ, P. H. C.; NOLASCO, A. M. (1997). Seleção de resíduos de alguns tipos de fibra vegetal para reforço de componentes de construção. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., 1997, Canela. *Anais...* Canela, ANTAC, p. 107-112.
- SAVASTANO JR. H. & PIMENTEL, L. L. (2000). Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 4, n.1, p. 103-110.
- SAWAYA, S. B. (1984). A casa de terra é uma arquitetura. *Revista Projeto*, n. 65, p. 58-59.
- SEMINÁRIO ARQUITECTURAS DE TERRA. (1992). Coimbra 1990. *Actas...* Coimbra, Aliance Française de Coimbra/ Museu Monográfico de Coimbra, 174p.

- SILVA JÚNIOR, M. P. da & VELUDO, S. J. (1996). *Terra crua: utilização do solo de Bauru para a produção de tijolos de adobe*. Bauru. Monografia (Graduação) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista.
- SILVA, H. D. da (1995). Construção com terra crua: técnicas construtivas, os modos de produção e tipologia arquitetural decorrente. In: WORKSHOP ARQUITETURA DE TERRA CRUA, 1995, São Paulo. *Anais...* São Paulo, NUTAU, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, p.31-48.
- SOUSA, S. M. T.; BARBOSA, N. P. (2000). Estabilização granulométrica de solos para a confecção de tijolos prensados de terra crua. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Salvador. (CD-ROOM).
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (1996). *Diretrizes para elaboração de dissertações e teses na EESC-USP*. 2. ed. São Carlos, Serviço de Biblioteca, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- VAN LENGEN, J. (1996). *Manual do arquiteto descalço*. Rio de Janeiro, TIBA/Papéis e Cópias. 695p.
- VARGAS, V. & MONTEIRO JR, J. N. (1988). Preparação e processamento de caulim para a indústria de papel. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 21. *Anais...* São Paulo, p. 371-389.
- VASCONCELOS, A. C. (2000). *Estruturas da natureza: um estudo da interface entre biologia e engenharia*. São Paulo, Studio Nobel, 311 p.