



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA**



**CENTRO DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA**

# **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE  
CALÇADOS (EVA – ETILENO VINIL ACETATO) EM  
TIJOLOS Prensados de Terra Crua**

Biblioteca UFCEG  
SMBC\_CDSA  
CAMPUS DE SUMÉ  
Reg. 12453/13

**CAMPINA GRANDE  
PARAÍBA  
Agosto-2003**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA AGRÍCOLA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE CALÇADOS  
(EVA – ETILENO VINIL ACETATO) EM TIJOLOS PRENSADOS DE  
TERRA CRUA

**ELISÂNGELA PEREIRA DA SILVA**

Campina Grande-PB  
Agosto-2003

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
AGRÍCOLA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE CALÇADOS (EVA –  
ETILENO VINIL ACETATO) EM TIJOLOS PENSADOS DE TERRA CRUA

**ELISÂNGELA PEREIRA DA SILVA**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola.

Campina Grande-PB  
Agosto-2003

S586i  
2003

Silva, Elisângela Pereira da  
Incorporação de resíduo da indústria de calçados (EVA –  
Etileno Vinil Acetato) em tijolos prensados de terra crua.  
Campina Grande: UFCG, 2003.

81p.

Inclui bibliografia

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)

UFCG/CCT/DEAG

1. Tijolo – 2. Terra crua – 3. Cimento – 4. Resíduos

CDU: 691.316



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA MESTRANDA

**ELISÂNGELA PEREIRA DA SILVA**

**Incorporação de Resíduos da Indústria de Calçados (EVA-etileno acetato de vinila) em Tijolos Prensados de Terra Crua**

**BANCA EXAMINADORA**

**PARECER**

  
**Dr. Normando Perazzo Barbosa-Orientador**

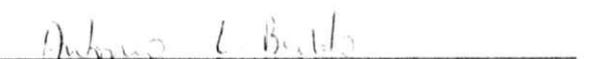
APROVADO

  
**Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento-Co-Orientador**

APROVADO

  
**Dr. Gelmires Araújo Neves-Examinador**

APROVADO

  
**Dr. Antônio Ludovico Beraldo-Examinador**

APROVADO

**AGOSTO - 2003**

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos pais:  
Samuel Pereira da Silva  
Elenilda Pereira da Silva

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua presença nos momentos difíceis e alegres em minha vida e por ter me concedido o dom da paciência e persistência para realização deste trabalho.

Ao professor Normando Perazzo Barbosa pela orientação, ensinamentos transmitidos e amizade que foram fundamentais na realização deste trabalho.

Ao professor José Wallace Barbosa do Nascimento, pela orientação nos momentos em que o professor Normando Perazzo Barbosa não pôde estar presente.

Aos professores da área de Construções Rurais e Ambiente pelas informações transmitidas.

Ao professor Edmar Brasileiro, pelo apoio na obtenção do material de pesquisa.

Ao professor Jurgen Wolfgang Precker, do Departamento de Física da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, pela ajuda na realização do teste para verificação do comportamento térmico das paredes.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação, pela convivência e amizade, em especial à Roberta Muniz, Marcilene Nóbrega, Kuelson Rândello, Felipe, Danilo, Rejane, Marília e Antônio.

Ao funcionário Danilo Amorim, pelo auxílio na moldagem dos tijolos.

Ao Laboratório de Solos II e Solos III, Departamento de Engenharia Civil, UFCG, pelo espaço concedido para confecção dos tijolos.

Ao Laboratório de Irrigação e Salinidade, Departamento de Engenharia Agrícola, UFCG, pela concessão do espaço para realização do ensaio para verificação do comportamento térmico das paredes.

Ao Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, em João Pessoa, pelo espaço cedido para realização dos ensaios nos painéis de parede, bem como aos seus funcionários pelo tratamento concedido.

A todos os funcionários da área de Construções Rurais e Ambiente, pelo zelo e amizade que sempre me trataram.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio financeiro fornecido para realização desta dissertação.

Aos meus familiares, em especial, aos meus pais pelo amor e zelo que sempre demonstraram, e a minha irmã Elen Wedja pelo apoio e amizade.

A todas as pessoas que contribuíram nesta minha caminhada.

UFCC - BIBLIOTECA

## INDICE

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
2.1 Resíduos e preservação ambiental.....	4
2.1.1 Aspectos legais.....	5
2.1.2 Reciclagem.....	6
2.1.2.1 Vantagens da reciclagem.....	8
2.1.2.2 Desvantagens da reciclagem.....	9
2.1.3 Situação da reciclagem de resíduos no Brasil.....	10
2.1.4 Resíduos na construção civil.....	10
2.2 EVA (etilene vinil acetate).....	13
2.3 Terra crua.....	15
2.3.1 Notas históricas.....	15
2.3.2 Estudos de tijolos prensados de terra crua.....	20
2.3.3 Fatores que influem na qualidade dos tijolos prensados.....	22
2.3.4 Comportamento de alvenaria de tijolos de terra.....	23
2.3.5 Comportamento térmico.....	26
2.3.5.1 Estudos sobre condutividade térmica de terra crua.....	27

<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	28
3.1 Materiais.....	30
3.1.1 Solo.....	30
3.1.2 Cimento.....	30
3.1.3 Água.....	30
3.1.4 EVA.....	30
3.2 Metodologia.....	32
3.2.1 Caracterização dos solos e de suas misturas.....	32
3.2.2 Caracterização dos ensaios de EVA.....	32
3.2.3 Mistura de terra-EVA.....	34
3.2.4 Tijolos de terra e EVA .....	34
Moldagem dos tijolos.....	35
Determinação da resistência à compressão.....	36
Determinação da absorção.....	37
3.2.5 Estudos nos painéis de parede .....	38
Características das paredes.....	38
Procedimento experimental.....	39
3.2.6 Verificação do comportamento térmico.....	40
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	43
4.1 Caracterização dos materiais .....	43
4.1.1 Solo.....	43
4.1.2 EVA .....	49
4.1.3 Solo - EVA.....	51
4.2 Estudo dos tijolos.....	52
4.2.1 Estudo da resistência dos tijolos.....	52
4.2.2 Absorção.....	55
4.3 Estudo das paredes.....	56
4.3.1 Ensaio da primeira parede.....	56
4.3.2 Ensaio da segunda parede.....	59
4.3.3 Ensaio da terceira parede.....	60
4.3.4 Ensaio da quarta parede.....	62
4.4 Sumário dos resultados.....	64

4.5 Comportamento térmico das paredes.....	65
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>73</b>
Sugestões para futuras pesquisas .....	75
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>76</b>

UFMG - BIBLIOTECA

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	- Centro urbano de Seojane, Iran (Dethier, 1996).....	15
FIGURA 2.2	- Construção dos índios no sul dos Estados Unidos e uma mesquita construída na África (Dethier, 1996).....	16
FIGURA 2.3	- Tiradentes, MG, tradição de construção com terra.....	17
FIGURA 2.4	- Casa de terra sem tecnologia.....	18
FIGURA 2.5	- Produção industrial de adobes no sul dos Estados Unidos (Dethier, 1996).....	19
FIGURA 2.6	- Problemas no Nordeste brasileiro e contribuição das cerâmicas para o problema (Jornal Correio da Paraíba, 1999)....	20
FIGURA 2.7	- Prensa manual para fabricação de tijolos prensados de terra crua (Barbosa, 1996).....	21
FIGURA 2.8	- Instrumentação para ensaio de parede de solo-cimento.....	24
FIGURA 2.9	- Instrumentação para ensaio de paredes com substituição de parte do cimento por resíduo cerâmico.....	25
FIGURA 2.10	- Parede ensaiada por Pkla (2002).....	26
FIGURA 3.1	- Quadro da metodologia adotada.....	29
FIGURA 3.2	- Resíduos de EVA.....	30
FIGURA 3.3	- Moinho de facas rotativas.....	31
FIGURA 3.4	- Detalhe da malha da peneira e dos grãos de EVA.....	31

FIGURA 3.5	- Detalhe do recipiente usado para o teste de absorção do EVA.....	34
FIGURA 3.6	- Prensa SOLOTESTE.....	35
FIGURA 3.7	- Tijolos após o período de cura.....	36
FIGURA 3.8	- Corpos de prova para ensaio à compressão.....	36
FIGURA 3.9	- Ensaio de resistência à compressão.....	37
FIGURA 3.10	- Ensaio de resistência à compressão de prismas com três tijolos.....	38
FIGURA 3.11	- Instrumentação para o ensaio das paredes.....	39
FIGURA 3.12	- Detalhe para instrumentação do ensaio para verificação do comportamento térmico das paredes.....	41
FIGURA 3.13	- Instrumentação para teste de comportamento térmico nas paredes em série.....	41
FIGURA 3.14	- Instrumento Datalogger.....	42
FIGURA 4.1	- Curva granulométrica do solo de Genipapo.....	43
FIGURA 4.2	- Curva granulométrica do solo de João Pessoa - UFPB.....	44
FIGURA 4.3	- Curva de compactação do solo de João Pessoa - UFPB.....	45
FIGURA 4.4	- Curva granulométrica da mistura 1:1 (solo Genipapo: solo de João Pessoa - UFPB).....	45
FIGURA 4.5	- Curva granulométrica da mistura 2:1 (solo Genipapo: solo de João Pessoa - UFPB).....	46
FIGURA 4.6	- Curva de compactação da mistura 1:1 (solo Genipapo: solo de João Pessoa - UFPB).....	47
FIGURA 4.7	- Curva de compactação da mistura 2:1 (Solo Genipapo: solo João Pessoa - UFPB).....	47
FIGURA 4.8	- Curva granulométrica do solo de Jacumã utilizado na confecção dos tijolos.....	48
FIGURA 4.9	- Curva de compactação do solo de Jacumã utilizado na moldagem dos tijolos.....	48
FIGURA 4.10	- Curva granulométrica do EVA em pó.....	49
FIGURA 4.11	- Curva granulométrica do EVA # 2,4 mm.....	49
FIGURA 4.12	- Curva de absorção de água para o EVA # 2,4 mm.....	50
FIGURA 4.13	- Curva de absorção de água para o EVA em pó.....	50
FIGURA 4.14	- Curva de compactação da mistura 1: 1: 0,25 para o primeiro	

FIGURA 4.15	- Curva de compactação da mistura 1: 0,25.....	52
FIGURA 4.16	- Influência da porcentagem de cimento e do teor volumétrico de EVA # 2,4 mm na resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento-EVA.....	53
FIGURA 4.17	- Influência da porcentagem de cimento e do teor volumétrico de EVA em pó na resistência à compressão dos tijolos solo-cimento-EVA.....	54
FIGURA 4.18	- Massa específica dos tijolos com EVA # 2,4 mm.....	54
FIGURA 4.19	- Massa específica de tijolos com EVA em pó.....	55
FIGURA 4.20	- Curvas carga deformação da parede A (10% de EVA com 10% de cimento).....	57
FIGURA 4.21	- Esquema da ruptura da parede A.....	59
FIGURA 4.22	- Curvas carga deformação da parede B (0% de EVA com 10% de cimento).....	60
FIGURA 4.23	- Curvas carga deformação da parede C (10% de EVA com 6% de cimento).....	61
FIGURA 4.24	- Curvas carga deformação para parede D (0% de EVA com 6% de cimento).....	63
FIGURA 4.25	- Temperatura medida em função do tempo de exposição à radiação para parede sem EVA: temperatura nas faces e diferença de temperaturas entre os pontos opostos na parede.....	66
FIGURA 4.26	- Temperatura medida em função do tempo de exposição à radiação para parede com EVA: temperatura nas faces e diferença de temperatura entre os pontos opostos na parede.....	67
FIGURA 4.27	- Variação de temperatura entre o ponto central e os demais pontos (A) Parede sem EVA; (B) Parede com EVA.....	68
FIGURA 4.28	- Esquema utilizado para verificação do comportamento térmico das paredes.....	69

FIGURA 4.29 - Esquema para ensaio das paredes em série: (A) Parede sem EVA em série com parede com EVA; (B) Parede com EVA em série com parede sem EVA.....	70
FIGURA 4.30 - Temperatura para as paredes em série: (A) Parede sem EVA em série com parede com EVA; (B) Parede com EVA em série com parede sem EVA.....	71

UFCC - BIBLIOTECA

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - Diferentes origens de resíduos no Brasil.....	4
TABELA 2.2 - Critério para seleção de solos para uso em tijolos prensados.....	22
TABELA 3.1 - Ensaio de caracterização dos solos.....	32
TABELA 3.2 - Ensaio de caracterização do EVA .....	33
TABELA 4.1 - Resumo das características granulométricas do solo de Genipapo.....	44
TABELA 4.2 - Resumo das características granulométricas do solo de João Pessoa – UFPB.....	44
TABELA 4.3 - Resumo das características granulométricas das misturas.....	46
TABELA 4.4 - Resumo das características granulométricas do solo de Jacumã utilizado na confecção dos tijolos.....	48
TABELA 4.5 - Propriedades físicas do EVA .....	49
TABELA 4.6 - Caracterização da mistura.....	51
TABELA 4.7 - Caracterização do solo de Jacumã - João Pessoa mais EVA em pó.....	52
TABELA 4.8 - Resultados de absorção média dos tijolos solo-cimento-EVA # 2,4 mm.....	55
TABELA 4.9 - Resultados de absorção média dos tijolos-solo-cimento-EVA em pó.....	56
TABELA 4.10 - Resumo dos ensaios das paredes.....	64

## **Incorporação de resíduos da indústria de calçados (EVA- etilene vinil acetate) em tijolos prensados de terra crua.**

### **RESUMO**

A Paraíba se destaca no mercado nacional de calçados ocupando o quinto lugar em exportação. Algumas dessas indústrias utilizam um tipo de polímero o EVA (etilene vinil acetate), para fabricação de palmilhas e solados de calçados. O destino final dos resíduos gerados parece ser os lixões e aterros clandestinos. Esses resíduos consistem de restos de placas provenientes do processo de corte para fabricação do calçado e de um pó resultante da fase de acabamento. Uma maneira de livrar o meio ambiente dos inconvenientes causados pela geração desses resíduos é a sua incorporação em tijolos de terra crua, tema desta dissertação. Foram inicialmente feitos ensaios de caracterização dos materiais empregados. Foram testadas várias combinações do teor de solo-EVA, tendo o teor desses resíduos variado de 0 a 50% em relação ao volume de solo. Para o emprego do resíduo que se apresenta em forma de placas adotou-se a trituração em moinho rotativo para produzir partículas menores que 2,4 mm. No caso do resíduo em pó não houve nenhum processo de transformação. Como estabilizante foi usado o cimento em taxas de 6, 8 e 10% em relação ao peso do solo. Foram obtidas as resistências à compressão de tijolos prensados em uma pequena prensa manual, com diversas misturas. Com algumas destas misturas fabricaram-se tijolos com os quais foram moldados quatro painéis com cerca de 1m<sup>2</sup>. Eles foram instrumentados com 5 extensômetros para acompanhamento das deformações e procedeu-se o ensaio de compressão simples. Também foram construídas duas paredes, uma com incorporação de EVA e outra sem, para comparação do desempenho térmico. Os resultados mostraram que à medida que se aumentou o teor de EVA a resistência dos tijolos caiu sensivelmente. Mais de 10% de incorporação é inconveniente. O comportamento das paredes foi satisfatório, porém com o equipamento utilizado não se consegue compactar o solo adequadamente e por conseguinte as resistências não foram elevadas, porém satisfatórias para muros divisórios não estruturais. Do ponto de vista térmico, mostrou-se que a incorporação de apenas 10% de borracha conduziu a uma diminuição de aproximadamente 5 °C em relação a parede de tijolos sem

## **Incorporation of (EVA - ethylene vinyl acetate) residues in compressed earth blocks**

### **ABSTRACT**

Concerning shoes export, Paraíba state is in the fifth place in Brazil. Some of these industries use a type of polymeric EVA (Etilene vinyl acetate) that generate many waste that causes problems to environment. Two types of residues are present: in form of plates and as a powder. A way to liberate the environment of that inconvenient material is its incorporation in compressed earth blocks as shown in this work. The characterization of the materials was made. Several mixtures soil-EVA were tested, with the percentage of residues varying from 0 to 50% in relation to the soil volume. To employ of the residue, that comes in form of plates a mill was used to produce particles smaller than 2,4 mm. In the case of the powdered residue, none transformation process was needed. As stabilizer, cement was used in rates of 6, 8 and 10% by weight of soil. Compression strength of the mixtures was obtained in the bricks, fabricated in a small manual press. With some of these mixtures bricks were manufactured and four panels with about 1m<sup>2</sup> were built. They were instrumented with 5 strain gages and a compression test was made. Two others walls, one with incorporation of EVA and another without, were prepared for thermal performance. Results show that increasing the amount of EVA strength of the bricks drops sensibly. More than 10% of EVA incorporation are not adequate. The walls performed well, even if the press with doesn't get great compactation on the soil and consequently the resistances were not high. They can be used for non-structural walls. In the thermal point of view, it is shown that the incorporation of 10% of rubber drove to a decrease of approximately 5 °C in relation to a wall made with bricks without EVA, exposed to the same boundary conditions.

## 1 INTRODUÇÃO

O volume de resíduos gerados diariamente constitui um dos principais problemas dos centros urbanos, não apenas devido à quantidade de lixo acumulado, mas, sobretudo, ao impacto que causa ao meio ambiente.

Preocupados com a preservação ambiental, a comunidade científica tem procurado métodos alternativos no que se refere ao destino desses resíduos. Assim, a reciclagem através da reutilização ou recuperação dos resíduos ou de seus constituintes parece ser uma das formas mais viáveis na tentativa de solucionar o problema de seu destino final.

A construção civil consome grande quantidade de materiais, sendo um setor apropriado para absorver resíduos sólidos industriais. Além dos benefícios ecológicos esse procedimento pode conduzir à redução do custo da construção, o que é extremamente saudável, tendo em vista o grande déficit habitacional da população de baixa renda nacional.

A indústria coureiro-calçadista durante o processo de produção gera resíduos cujo maior volume é destinado a lixões ou aterros. Essa solução apresenta sérias limitações, pois os produtos geralmente apresentam velocidade de degradação extremamente baixa e, em parte, apresentam resíduos químicos passíveis de provocar severas contaminações ao ambiente (Kazmierczak, 1996).

Nas cidades de Campina Grande e João Pessoa, existem indústrias que trabalham na confecção de sapatos e na fabricação de mantas de borrachas, que são utilizados para fornecer palmilhas e solas de calçados. Fazem uso de copolímeros

termofixos microporosos, com predominância do EVA (Etileno vinil acetato) ou do SBR (látex estireno-butadieno), além de outros polímeros que entram em menores proporções para se obter o composto (Bezerra, 2002). Uma das maneiras de livrar o ambiente deste material é sua incorporação em produtos nos quais ele permaneça inerte.

A terra foi um dos primeiros materiais que o homem usou para se proteger das intempéries, construindo com esse material, obras belíssimas que chegam a fazer parte da tradição cultural de certos povos.

Na engenharia o solo é utilizado em diversas aplicações, como estradas, barragens e mesmo edificações. Na antiguidade usava-se palha, para estabilizá-lo e modernamente adota-se o cimento Portland, a cal, o asfalto, etc.

Tijolo de solo-cimento é uma mistura de terra, cimento Portland e água. Essa mistura é submetida a uma certa energia de compactação em uma prensa que pode ser manual ou hidráulica.

Os tijolos de terra crua estabilizados com cimento apresentam algumas vantagens, tais como: o solo ser um material abundante; o processo de fabricação envolve baixo consumo energético; o produto apresenta propriedades térmicas melhores que os blocos cerâmicos ou de concreto. Outra vantagem é o fato de poder incorporar materiais na sua fabricação, aproveitando desse modo, os recursos disponíveis em uma região.

A presente pesquisa buscou estudar o aproveitamento dos resíduos de EVA incorporando-o no processo de fabricação de tijolos prensados de terra crua, para serem utilizados em paredes sem função estrutural.

Esta dissertação de mestrado está dividida em 6 capítulos

O capítulo 1 introduz o tema abordado.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre a questão da reciclagem, enfocando aspectos legais, vantagens e desvantagens do processo de reciclagem. Apresenta também o material terra, sua utilização como material de construção ao longo da história da humanidade, sendo mostrado sua utilização na forma de tijolos prensados. No mesmo capítulo são apresentadas informações sobre o resíduo EVA através da definição e suas principais características e formas de uso na indústria de calçados.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia experimental, através da descrição dos materiais e dos ensaios de caracterização dos mesmos e, equipamentos utilizados na pesquisa.

No capítulo 4 tem-se a apresentação e a análise dos resultados obtidos.

No capítulo 5 apresentam-se as conclusões, apontando-se sugestões para pesquisas futuras.

No capítulo 6 são apresentadas as referências bibliográficas, que serviram de embasamento para o texto.

UFCC - BIBLIOTECA

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Resíduos e preservação ambiental

O descarte foi, por muito tempo, a única solução para o que, a princípio, era imprestável e, portanto, denominado lixo. Contudo, nos últimos anos, o problema dos resíduos sólidos se acentuou rapidamente em função de pelo menos três fatores: o aumento do número e variedade de produtos descartáveis; o aumento nas quantidades de resíduos associados a cada objeto produzido; e a tendência para aglomerar certas operações produtoras de resíduos de uma maneira tal que sobrecarrega qualquer processo natural de tratamento (Agnesini e Nolasco, 1997).

Mendonça (1996), *apud* Latterza (2000), indicou que a produção de resíduos no país chega a totalizar 241.614 t/dia, significando dizer que cada brasileiro produz cerca de 1,59 kg de lixo por dia. A Tabela 2.1 indica as diferentes origens dos resíduos gerados no Brasil (Latterza, 2000).

**TABELA 2.1 - Diferentes origens de resíduos no Brasil**

<b>Produção de Lixo no Brasil</b>	<b>(t/dia)</b>	<b>(%)</b>
Residencial	96.000,00	39,7
Comercial	32.055,42	13,3
Industrial	21.745,26	9,0
Material inerte	91.813,32	38,0
<b>Total</b>	<b>241.614,00</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Latterza (2000)

Apesar dos resíduos industriais representarem uma parcela menor em relação aos outros resíduos apresentados, os mesmos requerem cuidados especiais. Pois, segundo (Kulakowoki *et al.*, 1996), o problema dos rejeitos industriais não termina com sua captação, pois uma disposição inadequada, isto é, a disposição em grandes quantidades em locais impróprios, gera o risco de contaminação do solo e das fontes de água.

Segundo Garlet (1998), a estocagem ou a eliminação de resíduos produzidos no processo industrial tem preocupado não só os órgãos ambientais como também os próprios geradores e a sociedade como um todo. Nas sociedades de consumo as principais objeções aos resíduos sólidos se enquadram em cinco categorias: risco à saúde pública, comprometimento estético da paisagem, ocupação do espaço, custo de recolhimento-processamento e degradação dos recursos naturais (Agnesini e Nolasco, 1997).

A proteção dos recursos naturais deixou de ser um mero discurso filosófico e tornou-se uma necessidade real em resguardar o que ainda existe de um ambiente sadio (Castro *et al.*, 1996), onde os resíduos gerados pelos diferentes processos econômicos são a principal fonte de degradação ambiental (John, 1996).

### 2.1.1 Aspectos legais

Segundo Medeiros (2002), o Brasil foi o primeiro país a constar na Constituição Federal, lei maior de um país, que o meio ambiente ecologicamente equilibrado é um direito inalienável do cidadão, atribuindo-se ao Poder Público o dever de defendê-lo e de preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

De acordo com a Legislação Ambiental, as empresas geradoras de resíduos são responsáveis pelos mesmos indefinidamente, ainda que o resíduo seja transportado de local, tenha mudado de mãos, ou de depositário, ou mudado de forma, mantendo suas características nocivas (Rolim, 2002).

Para o Código Civil, quando o resíduo passa por algum processo de descaracterização (como no caso da incineração, da reciclagem e do reuso), retira-se a responsabilidade do gerador original, perante esse novo produto, depois de completado o processo. Neste caso, o adquirente é o novo responsável, salvo os casos em que o

resíduo, objeto de reciclagem ou reuso, esteja contaminado de origem, pois assim a responsabilidade permanece sendo do gerador (Bezerra, 2002).

Além da necessidade de obedecer às leis, percebe-se, em nível mundial, uma maior adesão do número de empresas a uma gestão ambiental mais fortalecida, justificado também pela importância da implementação de programas de qualidade (por exemplo, as normas ISO), que se torna um diferencial de mercado, pois cada vez mais as empresas “limpas” são melhores aceitas pelos consumidores (Bezerra, 2002).

Ainda segundo (Bezerra, 2002), os principais instrumentos legais brasileiros encontram-se dispostos na Constituição Federal (art.225, § 1º, V e § 3º), em leis especiais, como a Lei de Zoneamento Industrial (Lei 6.803/80, art. 9º), Lei de Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/81, arts. 3º, 9º, 10, 11 e 14), Lei de Agrotóxicos (Lei 7.802/89), Lei de Crimes Ambientais e Infrações Administrativas Contra o Meio Ambiente (Lei 9.605/98), Decreto Presidencial 875/93 (Sobre a Aplicação da Convenção da Basileia de Movimentos Transfronteiriços de Transportes de Resíduos Perigosos e seu Depósito) e em normas regulamentares do executivo, em especial o Decreto Federal 88.821/83 (Regulamento de Transporte de Produtos Perigosos), Decreto Federal 96.044/88 (Transportes de Substâncias Perigosas), a Resolução CONAMA 6/88 (Licenciamento de Resíduos Industriais Perigosos) a resolução CONAMA 5/93 (Destinação Final de Resíduos Sólidos), a resolução CONAMA 3794 (Sobre a Convenção da Basileia) e a Resolução CONAMA 237/97 (Licenciamento Ambiental) e as Normas Regulamentadoras (NRs) do ministério do Trabalho, criadas pela Lei 6.514/77 e baixadas por Portaria dispondo sobre Segurança e Higiene do Meio Ambiente do Trabalho (destaque para as NRs. 4, 5, 6, 7, 9, 11, 15, 16 e 18), além das Normas Técnicas da ABNT sobre Resíduos Sólidos (NBRs 10004, 10005, 10006 e 10007).

UFMG - BIBLIOTECA

### 2.1.2 Reciclagem

Pode-se dizer, de forma simplificada, que reciclagem é a conversão do lixo em algo que tenha condições de uso e seja comercial. A reciclagem é uma das formas mais atraentes de solução dos problemas de gerenciamento de resíduos, tanto do ponto de vista empresarial como dos órgãos de proteção ambiental (Garlet, 1998).

A reciclagem é uma das três principais iniciativas que estão começando a ser adotadas como meio de reduzir a quantidade de resíduos a ser enviada para disposição em aterros. As três iniciativas, segundo (Ghassimi, 1997, *apud* Rolim, 2002) são a redução na origem, a reutilização e a reciclagem. A redução na origem, que ocorre antes ou durante um processo produtivo, segundo esse mesmo autor, reduz o volume ou o peso do resíduo gerado. A reutilização é o reaproveitamento direto dos resíduos para uma função que pode ser original ou diferente desta, sem a necessidade de sua transformação. A reciclagem é o reaproveitamento do resíduo como matéria-prima dentro de um processo produtivo, mediante algum tipo de modificação física, química ou biológica (Rolim, 2002).

No processo de reciclagem ocorrem geralmente três etapas: coleta e separação, revalorização e transformação.

A coleta pode ser feita de forma seletiva ou não. A forma seletiva facilita o trabalho e diminui a ocorrência de contaminação (presença de materiais diferentes num mesmo lote de um determinado resíduo).

A coleta seletiva, apesar de não ser a mais comum nos países subdesenvolvidos, é mais eficiente e largamente difundida nas cidades de países desenvolvidos. Porém, neste tipo de coleta a conscientização e a participação da população é de extrema importância, pois a separação dos materiais pode ser feita em seus próprios domicílios, além da necessidade de que coletores devidamente identificados sejam colocados em locais estratégicos, de modo que possam facilitar a participação de todos (Navarro, 2001).

A separação é a segunda etapa e irá depender do tipo de material que se pretende selecionar; podendo o mesmo passar por processos mecânicos, químicos ou magnéticos para que possa ser separado e enviado até os depósitos específicos.

A transformação é tida como última etapa, dando origem a um novo produto, que, dependendo da matéria-prima, será submetido a processos diferentes.

No Brasil, onde são produzidas quase 250 mil toneladas de resíduos por dia, o problema é grave, segundo dados do DQOR/UFC (Departamento de Química da Universidade Federal do Ceará): 76% do lixo produzido nas cidades brasileiras tem como destino os lixões a céu aberto, onde ele é depositado sem nenhum cuidado específico (Navarro, 2001).

### 2.1.2.1 Vantagens da reciclagem

Os resíduos sempre são gerados durante a produção de bens de consumo duráveis (edifícios, estradas, carros, etc) ou não duráveis (embalagens descartáveis, papéis), transformando-se em um grave problema urbano, com gerenciamento oneroso e complexo.

A primeira e mais visível das contribuições ambientais da reciclagem é a preservação de recursos naturais, substituídos por resíduos, prolongando a vida útil das reservas naturais e reduzindo a destruição ambiental (John, 2000). A reciclagem de resíduos, na maior parte dos casos, permite a redução do consumo energético (John, 2001). Entretanto, virtualmente em todos os casos, a reciclagem ajuda a reduzir ou eliminar a poluição tipicamente associada com a produção e a disposição de aterros e bens de consumo (Navarro, 2001).

A reciclagem permite a geração de empregos e aumenta a competitividade da economia (EPA, 1998, *apud* John, 2001). Segundo o Fundo de Defesa do Ambiente, em apenas 10 Estados do Nordeste dos EUA houve incremento de 7,2 bilhões de dólares na economia, a partir da implementação de processos de reciclagem, possibilitando a criação de mais de 100 mil empregos apenas durante o ano de 1991 (Navarro, 2001).

A educação é mais uma vantagem da reciclagem, pois o fato de as pessoas saberem que além de preservar o ambiente e a saúde podem ganhar algum dinheiro, faz com que haja uma adaptação aos processos de reciclagem. Neste caso, mesmo sem perceberem, estariam se educando e desenvolvendo-se como pessoas (Navarro, 2001).

No Brasil, as experiências de maior sucesso em reciclagem devem-se em sua maioria, a benefícios econômicos evidentes aliados a alguma influência de pressões de serviços de coleta de lixo urbano. Este é o caso das latas de alumínio, onde o benefício elevado da reciclagem desse metal, resultado do elevado preço das latas da matéria-prima no mercado, e do alto consumo de energia para produção do alumínio a partir da bauxita, fez com que os produtores das latas desenvolvessem estratégia original de reciclagem de sucesso inquestionável (John, 2000).

### 2.1.2.2 Desvantagens da reciclagem

A reciclagem de resíduos, assim como qualquer atividade humana, também pode causar impactos ao meio ambiente. Variáveis como tipo de resíduo, tecnologia empregada e a utilização proposta para o material reciclado podem tornar o processo de reciclagem ainda mais impactante do que o próprio resíduo o era antes de ser reciclado (John, 2000). Dessa forma, o processo de reciclagem acarreta riscos ambientais que precisam ser adequadamente gerenciados.

Segundo Navarro (2001), um artigo publicado na Revista Forbes em 17/11/97 apresentou algumas razões para a não reciclagem:

- a proposta central da reciclagem é conservar matérias-primas. Entretanto, não existe falta de matéria-prima, tanto que seus preços vem caindo, ano a ano;
- não existe falta de espaço para aterros sanitários. Segundo estudos do Instituto Cato, todo lixo produzido pelos Estados Unidos durante um período de 100 anos pode ser armazenado em um espaço de 7.800 hectares de área por pouco menos de 100 m de profundidade. E mesmo que a taxa anual média de deposição de lixo em aterros dobrasse, ainda assim seriam necessários alguns séculos para ocupar todo esse espaço;
- a reciclagem pode ser lógica quando o material reciclado possuir valor de mercado, tornando-se inviável quando os governos municipais gastam grandes quantias em programas de coleta seletiva e depois terem que jogar o entulho recolhido em áreas desabitadas fora dos municípios.

Todo processo de reciclagem necessita de energia para transformar o produto ou tratá-lo de forma a torná-lo apropriado a ingressar novamente na cadeia produtiva (John, 2000). A reciclagem também pode ser geradora de resíduos e esses novos resíduos nem sempre são tão ou mais simples que os reciclados, podendo vir a causar novos problemas, como a impossibilidade de serem reciclados.

Bezerra (2001), alertou sobre as possíveis mudanças tecnológicas no processo industrial ao longo do tempo, que podem provocar alterações no volume e no tipo de resíduo gerado. Como o processo de reciclagem está diretamente relacionado a estes fatores, torna-se grande o risco dos empreendimentos de reciclagem.

Esta é, pois, a visão capitalista do problema dos resíduos na qual nenhuma referência é feita ao meio ambiente.

### **2.1.3 Situação da reciclagem de resíduos no Brasil**

Comparativamente ao que ocorre em países do primeiro mundo, a reciclagem de resíduos no Brasil, como materiais de construção é ainda tímida, com a possível exceção da intensa reciclagem praticada pelas indústrias de cimento e de aço (John, 2000).

Para incentivar a reciclagem, tem sido criada em muitos países, inclusive no Brasil, a Bolsa de Resíduos, que é um serviço de informações, cuja finalidade é identificar mercados para os resíduos gerados nas operações industriais e estimular o seu aproveitamento econômico pelas empresas.

Os interessados em vender ou doar algum material anunciam na Bolsa, indicando o nome, composição química e a quantidade, a partir do qual os resíduos podem ser comercializados (Garlet, 1998).

No Brasil, a primeira Bolsa de Resíduos implantada foi a do Rio de Janeiro, criada em 1982, pela FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, atualmente desativada. Segundo o jornal O Estado de São Paulo (2003) a Fiesp (Federação das Indústrias do estado de São Paulo), de abril de 2002, quando foi fundada, a dezembro, ofertou um total de R\$ 9.960.862, 35.893 acessos e 219 resíduos cadastrados. Integram a bolsa 457 empresas de 18 Estados brasileiros, sendo 193 de pequeno porte, 166 micros, 66 médias e 32 de grande porte.

No Estado de São Paulo recentemente foi iniciada a discussão de uma política Estadual de Resíduos Sólidos (John, 2000). Este Projeto de Lei, aprovado pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente, propõe uma política abrangente de resíduos, incluindo ferramentas para minimização e reciclagem de resíduos.

### **2.1.4 Resíduos na construção civil**

O aumento significativo da produção de resíduos, decorrente principalmente da industrialização e do desenvolvimento, associado a um problema de deposição incorreta desses rejeitos, tem incentivado pesquisas por métodos alternativos no que se refere ao destino desses resíduos.

Atualmente, cientistas, engenheiros e técnicos vêm se dedicando cada vez mais à pesquisa, visando dessa forma à possibilidade do aproveitamento de resíduos e subprodutos industriais na produção de materiais alternativos, que possam ser usados como substitutos dos materiais convencionais ou que possuam características adequadas ao emprego de novos projetos (Ramasuwamy, Marvaty and Nagary, 1983 *apud* Garlet, 1998).

Cincotto, (1990), *apud* Garlet, (1998), afirmou que três razões motivaram o crescimento do número de pesquisadores voltados para o estudo do reaproveitamento geral de resíduos industriais e urbanos na construção civil:

- preocupação com o esgotamento de reservas de matéria-prima, se não para um país na sua totalidade, pelo menos para regiões específicas;
- preservação do meio ambiente, afetado pelo volume crescente de resíduos sólidos descartados;
- em países carentes de matéria-prima, a necessidade de compensar o desequilíbrio econômico provocado pela alta do petróleo, reciclando resíduos sólidos.

A produção de materiais de construção possui significativo impacto ambiental. A reciclagem de resíduos como materiais de construção permitem: (ENBRI, 1994, *apud* John, 1996).

- redução do volume de extração de matéria-prima;
- conservação de matérias-primas não renováveis;
- redução do consumo de energia;
- menores emissões de poluentes, como CO<sub>2</sub>, etc;
- melhoria da saúde e segurança da população.

Durante o WORKSHOP (Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil, 1996), foram apresentadas diretrizes gerais a serem seguidas nos dois tipos de projetos (pesquisas básicas e pesquisas aplicadas) que utilizam resíduos como matérias-primas para construção civil.

As Pesquisas Básicas:

1. podem ser feitas através de estudos de caracterização dos resíduos e, assim, podem descobrir suas possíveis potencialidades de reaproveitamento;

2. podem ser pesquisas que abordem ensaios laboratoriais que venham desenvolver novos produtos a partir de resíduos (análise tecnológica, avaliação do risco de contaminação sanitária e ambiental desses produtos).

Pesquisas Aplicadas (são desenvolvidas após obter-se resultado satisfatório nas pesquisas básicas):

1. podem buscar aproveitamento do produto;
2. podem aproveitar mecanismos de produção em escala industrial do novo produto;
3. podem ser pesquisas que abordem estudos de viabilidade econômica do processo;
4. podem ser pesquisas que objetivem desenvolver processos de transferência tecnológica.

O aproveitamento de resíduos industriais, através de sua incorporação em materiais destinados à construção civil, tem sido uma alternativa válida ao longo do tempo; a idéia dos “três” R (erres), ou seja: redução, reciclagem e reutilização de resíduos, devem ser valorizadas em contraposição à simples otimização dos sistemas de descarte, que apenas protelam a solução do problema de agressão ambiental.

A reciclagem de resíduos é uma das maneiras de diversificar e aumentar a oferta de materiais de construção, viabilizando, eventualmente, a redução de preço, que gera benefícios sociais adicionais através da política habitacional. Esta situação pode ser favorecida pela adoção de medidas de incentivo específicas para produção de habitações de baixo custo, utilizando-se produtos reciclados de desempenho comprovado (John, 1996).

## 2.2 EVA (etilene vinil acetate)

O EVA é um polímero. Um polímero (que significa “muitas partes”) é uma molécula obtida pelo encadeamento sucessivo de pequenas unidades repetitivas de baixo peso molecular chamados monômeros (Hansmann & Mustafa, 1993, *apud* Rolim, 2002).

Quanto ao comportamento térmico os polímeros podem ser classificados em dois tipos: termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos são polímeros que permitem a fusão por aquecimento e que, após o resfriamento podem ser novamente moldados. Os termofixos (ou termorígidos) são polímeros que, uma vez moldados não permitem mais a possibilidade de fusão, ou seja, não podem ser reprocessados; eles não fundem porém se decompõem quando reaquecidos. O EVA é um polímero termofixo, sendo, portanto, de difícil reprocessamento.

A principal aplicação do EVA é na produção de chapas reticuladas e expandidas, para obtenção de solados, entressolas e palmilhas na indústria calçadista, a qual responde por cerca de 69% do mercado de EVA no Brasil. Segundo Prezotto (1990), *apud* Garlet, e Greven (1996), esse material é fornecido para a indústria na forma de placas expandidas, nas quais é recortado o formato da sola, utilizando-se máquinas especiais, de acordo com as necessidades de cada empresa.

A diversificação na processabilidade do produto EVA permite atingir vários outros setores industriais. Segundo Garlet (1998), as aplicações mais comuns deste material são em:

- embalagens- alimentos líquidos e congelados, revestimento de papel, tubos compressíveis, etc;
- vestuário- aventais, revestimento de fraldas, entretelas, etc;
- calçados- solados, entressolas e palmilhas;
- medicina- luvas cirúrgicas, dosadores, etc;
- comunicação e eletricidade- fios flexíveis, revestimentos de cabos;
- agricultura- secadores, coberturas de estufas, mangueiras;
- asfalto- para alterar as propriedades dos ligantes e betuminosos;
- construção civil- painéis para ferragem de teto e pisos industriais;
- diversos- brinquedos flexíveis, flores artificiais, artigos esportivos, etc.

Os resíduos de EVA são gerados em decorrência do processo de fabricação das placas expandidas e durante a fabricação de calçados.

Os resíduos das placas se apresentam de duas formas: na forma de aparas e na forma de pó, a primeira é obtida durante o corte das placas e a segunda durante o processo de lixamento das placas na fase de acabamento.

Nas fábricas de calçados, geram-se resíduos de retalhos (sobras) das placas expandidas de EVA oriundos do processo de corte da sola, entressola ou palmilha do calçado e resíduos na forma de pó, o qual é gerado, durante o lixamento, na fase de acabamento do calçado.

Além de ser um material termofixo, o que impede o reaproveitamento completo destes resíduos no processo de produção de novas placas, o EVA também não é biodegradável, o que contribui para o aumento progressivo dos depósitos deste material nas áreas de descarte (Garlet, 1998).

Segundo Garlet, *et al.*, (1996), no que se refere aos resíduos de EVA, as soluções encontradas até o momento tem sido simplesmente a disposição em grandes áreas a céu aberto, fato que acarreta vários problemas, que vão desde a poluição visual de montanhas de resíduos, até a possibilidade de combustão do material durante o qual gera-se resíduos tóxicos.

Algumas indústrias na Paraíba negociam seus resíduos com as indústrias cimenteiras, as quais por sua vez aproveitam o potencial combustível deste resíduo para alimentar os fornos rotativos na fabricação de clínquer.

A reciclagem e reutilização de resíduos, é hoje uma necessidade para a preservação do meio ambiente, não apenas pelo risco de contaminação do solo e do lençol freático mas, também, pela possibilidade de redução do custo e do consumo de energia na produção de materiais para a construção civil (Silva, *et al.*, 1996).

## 2.3 Terra Crua

### 2.3.1 Notas históricas

Devido à sua facilidade de obtenção e abundância, a terra, as pedras e a madeira foram sem dúvida os materiais que serviram de base para as construções em todos os tempos (Neto, 2001).

A terra crua foi um dos principais materiais de construção, conhecida há, aproximadamente, dez mil anos. Com vestígios arqueológicos existentes em todo o mundo, comprovam a existência de várias cidades da antiguidade construídas com este material: Jericó, na Palestina, talvez a mais antiga, Çatal Hoyuk, na Turquia, Akhet-Aton, no Egito, Chan Chan no Peru e Babilônia no Iraque (Dethier, 1996).

Enorme é o patrimônio da humanidade construído em terra crua, principalmente nos países asiáticos. A Figura 2.1 mostra um exemplo o centro da cidade de Seojane no Iran, todo construído com terra.

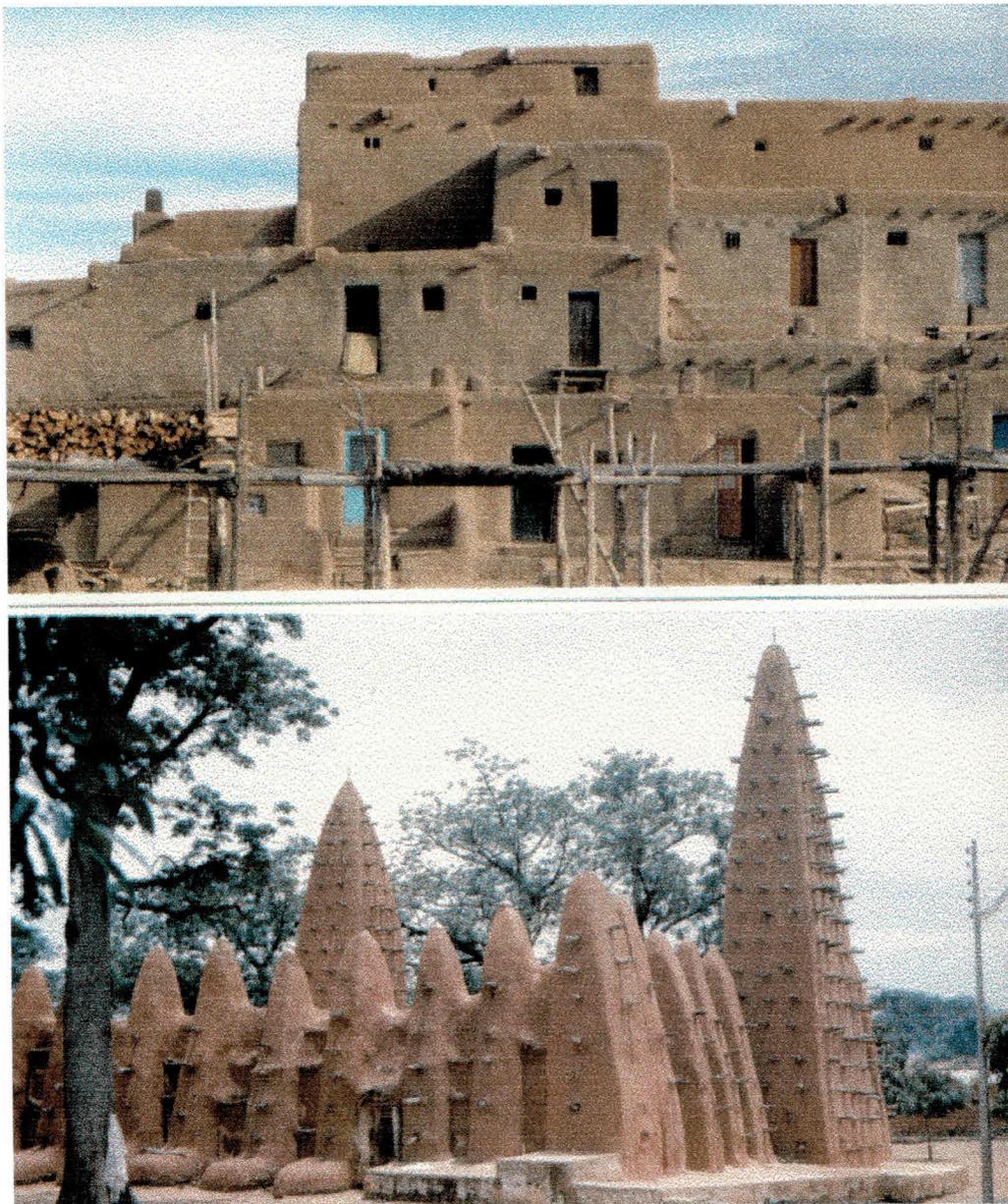


**FIGURA 2.1** - Centro urbano de Seojane, Iran (Dethier, 1996)

Com a expansão do Império Romano, a construção com terra alcançou regiões da França, Alemanha, Inglaterra e Península Ibérica. Na França, o sistema introduzido

de construção com terra compactada entre fôrmas de madeira, ainda largamente usado ao sul do país, recebeu o nome hoje muito divulgado de “pisé” (CEPED, 1984).

Ainda de acordo com o CEPED (1984), nas Américas, os métodos de construção com terra existiam de forma independente em países como Peru, México e sudoeste dos Estados Unidos. Também na África muitas obras interessantes foram feitas em terra crua. Na Figura 2.2 pode-se ver uma construção dos índios no sul dos Estados Unidos e uma mesquita construída na África, ambas em terra.



**FIGURA 2.2** - Construção dos índios no sul dos Estados Unidos e uma mesquita construída na África (Dethier, 1996)

No Brasil, o processo construtivo utilizando terra foi seguramente trazido pelos portugueses, uma vez que não se têm notícias de que o índio tenha empregado a terra como material de construção (Neto, 2001).

Cidades como Ouro Preto, Diamantina, Tiradentes (Figura 2.3) e Paraty têm em comum quatro séculos de história que testemunham o uso intensivo da taipa de pilão, do adobe e da taipa de sopapo ou pau a pique em nosso país. Assim a terra sempre fez parte da herança cultural construtiva brasileira (Casa Nova, 2001).

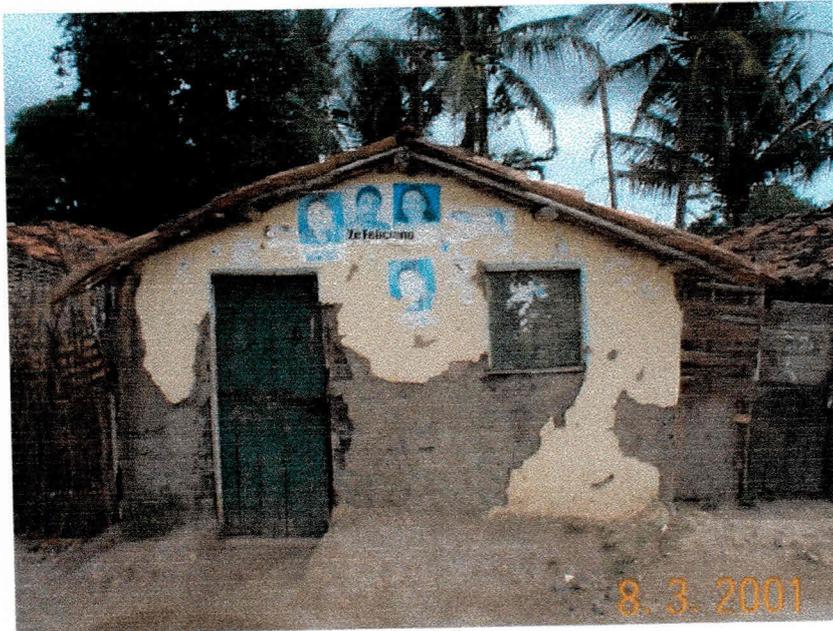


**FIGURA 2.3** - Tiradentes, MG, tradição de construção com terra

Existem mais de 20 tecnologias de construção com terra e com suas variantes locais. Com elas construiu-se intensamente até meados do século XIX, quando surgiu um novo material o cimento Portland. As técnicas construtivas utilizando a terra foram revividas no século XX durante os períodos de escassez de materiais e de habitação, como foi o caso da Europa, que utilizou a terra durante e após as duas guerras mundiais (CEPED, 1984).

Nos países do terceiro mundo, as construções com terra ficaram relegadas às populações marginais (Sousa, 1993). No Nordeste do Brasil, as populações pobres confeccionam com terra produtos de má qualidade (Figura 2.4); casas com paredes cheias de fissuras, pouco duráveis, insalubres e de desagradável aspecto estético (Sousa, 1993). Muitas vezes essas sub-habitações dão abrigo a insetos, entre os quais o conhecido barbeiro, causador do terrível mal de Chagas que afeta cerca de 24 milhões

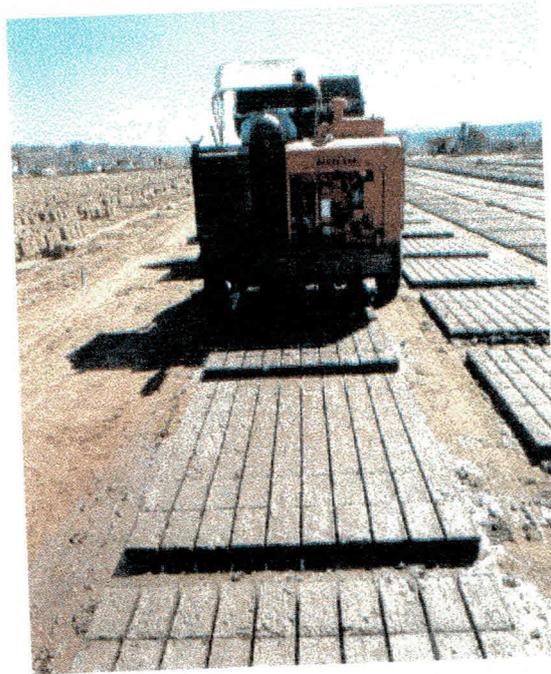
de pessoas no continente latino-americano (Peralta, 1997 *apud* Barbosa e Mattone, 2002).



**FIGURA 2.4** - Casa de terra sem tecnologia

No entanto, é possível mudar essa realidade. Voltando-se à tradição milenar ou mesmo utilizando-se tecnologias mais modernas (Barbosa, 2003).

Os blocos de adobe são conhecidos desde os primórdios da humanidade e ainda hoje são muito empregados na África e em alguns países Latino-americanos, representando a tradição, e mesmo nos Estados Unidos, onde já existe produção industrial (Dethier, 2001), representando a modernidade (Figura 2.5).



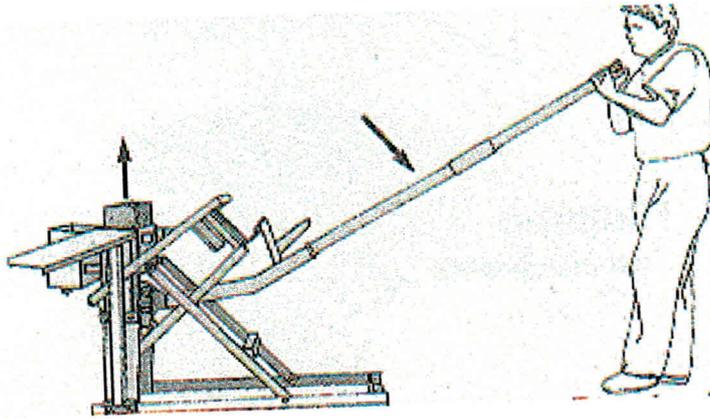
**FIGURA 2.5** - Produção industrial de adobes no sul dos Estados Unidos (Dethier, 1996)

Se a obtenção de adobes é uma tradição milenar, o mesmo não se pode dizer dos tijolos prensados de terra crua. Estes representam uma forma “moderna” de aplicação da terra, que nasceu nos anos cinquenta com o desenvolvimento da primeira prensa manual, a (CINVA- RAM) idealizada pelo pesquisador colombiano Ruam Ramirez (Barbosa, 1996).

A terra quando aplicada com uma correta tecnologia pode gerar construções de qualidade. Tal fato justifica que esse material passe a ser estudado como acontece com os materiais industrializados (Barbosa, 2002).

O uso dos tijolos de terra crua é uma alternativa importante para o Nordeste brasileiro, onde o problema da desertificação se faz cada vez mais grave (Figura 2.6). A fabricação dos tijolos cerâmicos consome a vegetação local utilizada como combustível, contribuindo fortemente para o problema.





**FIGURA 2.7** - Prensa manual para fabricação de tijolos prensados de terra crua (Barbosa, 1996)

Na Universidade Federal da Paraíba, Sousa (1993) estudou o uso das fibras vegetais na confecção de tijolos, onde foi possível observar um elevado grau de resistência à fissuração e à propagação de fissuras.

Rolim, e Freire (1996), estudaram a incorporação de vinhaça (resíduo produzido no processo de obtenção do álcool de cana-de-açúcar) em substituição ao cimento para tijolos prensados. Foram estudados dois tipos de solos de classes texturais diferentes: um arenoso e outro argiloso, tendo sido feito a variação na dose de vinhaça em 12%, 16% e 20%. A resistência à compressão para o solo arenoso tratado com 12% de vinhaça foi de 1,92 MPa e para o solo argiloso foi de 1,70 MPa.

Neves, *et al.*, (2001), verificaram a substituição parcial de dois tipos de solo: latéritico e saprolítico, por agregado reciclado da construção civil nas seguintes proporções: 25%, 50%, 75% e 85%, em massa, e 12% de cimento, também em massa. Os resultados obtidos para os tijolos de solo-cimento comprovaram a influência do tipo de solo empregado. Para o solo saprolítico a resistência à compressão e absorção de água foram inferiores a 2,0 MPa e 20%, respectivamente. Por outro lado, para o solo laterítico os tijolos atenderam ao limite mínimo de resistência à compressão, sendo que com teores acima de 50%, atenderam ao limite máximo de absorção de água.

Dallacort, *et al.*, (2002), estudaram a substituição parcial de cimento por tijolos cerâmicos moídos, incorporado no processo de construção de tijolos de terra crua. Levou-se em conta três variáveis: porcentagem de cimento (6%, 8% e 10%), material cerâmico (25% a 50%) e o teor de umidade (12%, 14% e 16,5%). Observou-se que para 12% de umidade e substituição de 25% de cimento por material cerâmico houve uma elevação na resistência do material em 25,8% e, para substituição de 50%, ocorreu um

decrécimo na resistência de 35,2%. Para 14% de umidade a substituição de 25% de cimento por material cerâmico elevou a resistência do material em 10,60% e, para substituição de 50% ocorreu um decréscimo na resistência de 30,3%. Finalmente para 16,5% de umidade a substituição de 25% por 50% de cimento por material cerâmico reduziu a resistência do material em 16,1% e 40,7%.

### 2.3.3 Fatores que influem na qualidade dos tijolos prensados

Diversos fatores influem no desempenho dos tijolos prensados.

No tijolo prensado o solo é o elemento que entra em maior proporção na mistura, devendo ser escolhido de modo a permitir o uso da menor quantidade possível de estabilizante. Segundo a NBR (10832) e a NBR (10833), os solos adequados para fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento são os que possuem as características apresentadas na Tabela 2.2 (Neves, *et al.*, 2001).

**TABELA 2.2 - Critério para seleção de solos para uso em tijolos prensados**

Características	Requisitos
% passando na peneira ABNT 4,8 mm (n#4)	100
% passando na peneira ABNT 0,075 mm (n#200)	10 a 50
Limite de Liquidez	≤ 45
Limite de Plasticidade	≤ 18

Fonte: Neves, *et al.*, (2001)

Quanto à granulometria, os solos mais adequados para estabilização com cimento são os arenosos. O consumo de cimento, na obtenção do solo-cimento, depende fundamentalmente das dimensões dos grãos e de sua uniformidade. O acréscimo nos teores de silte e argila, ou a ocorrência de grãos com tamanhos muito uniformes, acarretam um aumento nos teores de cimento (CEPED, 1984).

A fração arenosa apresenta grande capacidade de mobilizar atrito interno, desde que haja contato entre os grãos. No entanto, compactado é praticamente incompressível. Nos tijolos de terra crua é indispensável a presença da areia para lhes dar a estrutura resistente aos esforços mecânicos (Barbosa, 1996), porém a presença de argila é necessária para dar coesão ao bloco ainda úmido. Como as argilas são quimicamente ativas, elas reagem com os componentes de hidratação do cimento,

sobretudo o hidróxido de cálcio. O tipo de argila presente no solo influi decisivamente na qualidade dos blocos. A argila montmorilonita em excesso não é adequada à fabricação de tijolos, pois é expansiva e qualquer absorção de água poderia causar aumentos de volumes indesejáveis, não apresentando essa argila ganho de resistência quando estabilizada com cimento, salvo em grandes teores (Barbosa, 1996).

Oliver (1994) *apud* Barbosa (1996) diz que, a densidade seca decresce significativamente com o aumento no teor de argila (de 22 a 17 kN/m<sup>3</sup>). Então, baixas densidades secas em blocos prensados podem ser indicativos da presença de um maior percentual de argila no solo. Entretanto, a menor densidade seca não quer dizer que a resistência será menor que a de outro material que apresente maior valor (Barbosa, 1996).

A densidade seca pode não ser o melhor parâmetro de referência que garanta a qualidade de diferentes solos comprimidos. Um solo caulínítico não estabilizado pode proporcionar uma densidade seca razoavelmente alta (2,0 a 2,1 kN/m<sup>3</sup>), porém uma resistência menor, contrariamente para solos montmoriloníticos não-estabilizados que têm uma baixa densidade seca (1,7 a 2,0 kN/m<sup>3</sup>), mas uma boa resistência seca (3,0 a 5,0 MPa), por causa da coesão das argilas (Sousa, 1993). Para um mesmo solo compactado, no entanto, a maior densidade seca implicará em maior resistência.

A curva granulométrica deve ser bem distribuída, pois assim consegue-se melhor arranjo dos grãos, menores vazios e, conseqüentemente, melhor compactação.

Segundo (Sousa, 1993), a porcentagem de água é o parâmetro no qual o processo de fabricação de tijolos prensados deve se basear e não a densidade seca, pois ao variar-se a porcentagem de água em 2 a 3% ocorre uma diminuição de 30 a 50% da máxima resistência à compressão, enquanto que, para esta mesma variação do teor em água a densidade seca varia em apenas 5%.

#### **2.3.4 Comportamento de alvenaria de tijolos de terra crua**

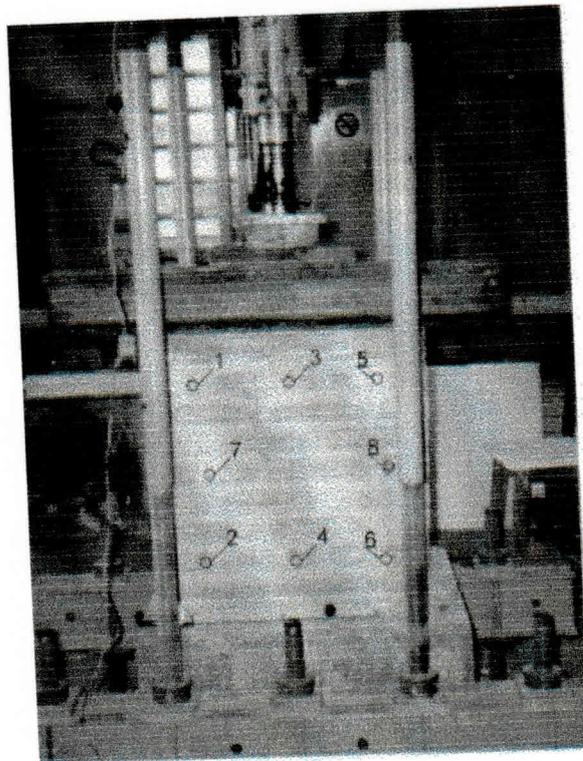
No que diz respeito aos estudos sobre o comportamento de paredes de terra são relativamente poucos os trabalhos disponíveis.

Barbosa (1996) ensaiou vários painéis de cerca de 1 m de altura, alguns dos quais confeccionados com tijolos de terra crua, aos quais se incorporou fibras vegetais,

no caso fibra de sisal. O material de assentamento foi o mesmo utilizado na fabricação dos tijolos, apenas a quantidade de água foi mais elevada. Os painéis de adobe, sem nenhum estabilizante, e com apenas 12 cm de largura, foram capazes de suportar cargas superiores a 100 kN/m (10 tf/m) em seu topo. Painéis de tijolos prensados chegam a suportar até mais de 20 tf/m. Isso mostra a viabilidade do uso desses tijolos nas construções, visto que numa construção popular as cargas aplicadas nos topos das paredes são inferiores a 10 kN/m (1 tf/m).

Rolim, *et al.*, (1999), ensaiaram um painel de 60x60 cm, com nove fiadas de tijolos de solo-cimento. O teor de cimento foi 8% em peso de terra, e a resistência média dos tijolos foi de 2,2 MPa. A argamassa utilizada para o assentamento foi de cimento, cal e solo, de traço 1: 1: 5, segundo os autores, para efeito de minimização de fissuração.

Um perfil metálico foi utilizado para distribuição das cargas no topo da parede. O painel foi instrumentado para acompanhar as deformações que ocorriam até a ruptura do painel (Figura 2.8).



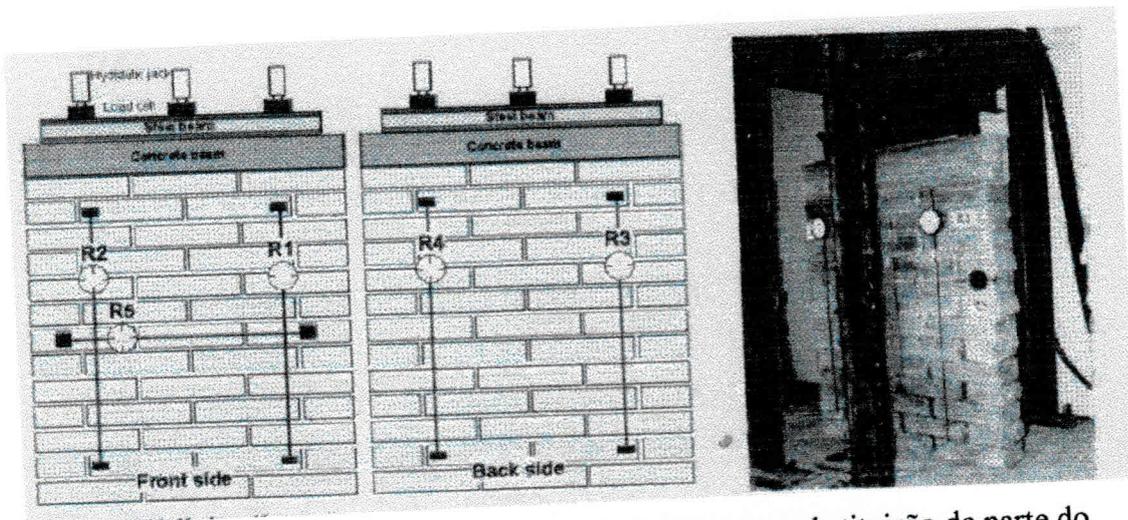
**FIGURA 2.8** - Instrumentação para ensaio de parede de solo-cimento

As primeiras fissuras ocorreram sob tensões da ordem de 0,91 MPa, sendo que para esta carga ocorreu um começo de separação entre o tijolo e a junta de argamassa.

Na tensão de 1,21 MPa, correspondente a 133 kN/m, começaram a se desenvolver fissuras horizontais. A ruptura real ocorreu sob carga superior à indicada.

Dallacort, *et al.*, (2002), ensaiaram três painéis de paredes de tijolos prensados com proporções de materiais diferentes: mistura 1- 15,8% de umidade do solo, 6% de cimento e 0% de substituição de cimento portland por cerâmica triturada; mistura 2 - 15,8% de umidade do solo, 6% de cimento e 35% de substituição de cimento Portland por material cerâmico; mistura 3 - 15,8% de umidade do solo, 8% de cimento e 55% de substituição de cimento Portland por material cerâmico triturado.

A instrumentação foi feita com cinco extensômetros (Figura 2.9), um para medir a deformação lateral ao longo da largura e quatro para medir as deformações ao longo da altura.

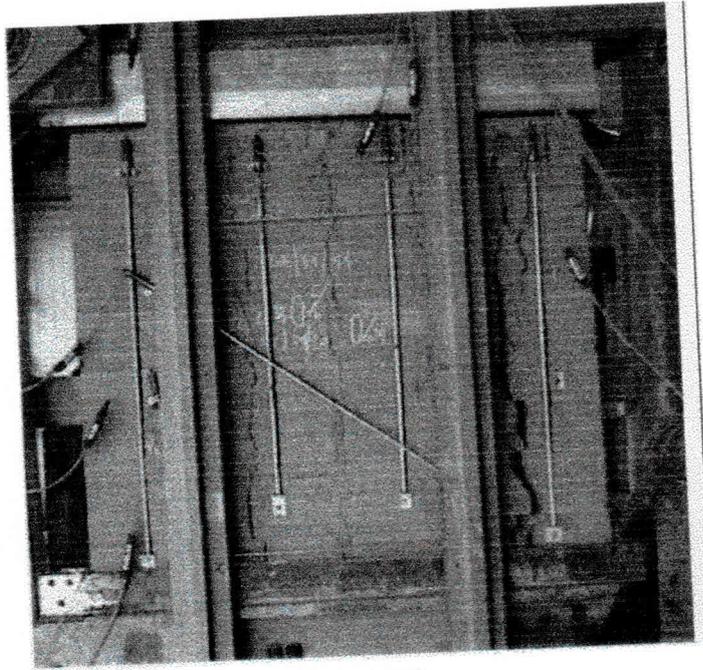


**FIGURA 2.9** - Instrumentação para ensaio de paredes com substituição de parte do cimento por resíduo cerâmico

A parede feita com tijolos da mistura 1, rompeu com carga muito próxima de 190 kN/m. A parede onde foi usada a mistura 2 colapsou com carga equivalente a cerca de 170 kN/m, ao passo que o último painel chegou a resistir a 157 kN/m.

Pkla (2002), ensaiou doze painéis de paredes de solo-cimento, com cerca de 1 m<sup>2</sup>. A parede (Figura 2.10) foi construída sobre um perfil metálico em forma de U, onde a base foi dimensionada em função de evitar uma flecha qualquer nociva à mureta. A espessura dos painéis era de 14 cm.

Nas doze paredes ensaiadas, foram obtidas tensões médias de ruptura entre 0,8 MPa e 1,81 MPa, o que corresponde a 112 kN/m a 253 kN/m. Numa outra parede em que o autor usou 12% de cimento a carga última ultrapassou 500 kN/m.



**FIGURA 2.10** - Parede ensaiada por Pkla, (2002)

### 2.3.5 Comportamento térmico

Calor é uma forma de energia. A energia térmica pode se manifestar no interior dos corpos, por vibração dos átomos em torno de suas posições médias ou no espaço, como radiação. Nos sólidos a transmissão de calor se inicia quando existe uma diferença de temperatura entre pontos distintos no seu interior. O sentido da transferência de calor é sempre do ponto sob temperatura maior para o de temperatura menor.

Os três mecanismos da transferência de calor são a radiação, a convecção e a condução. A transferência de calor por radiação faz-se através do espaço sob a forma de ondas eletromagnéticas. A convecção se caracteriza pelo fato de que o calor é transferido pelo movimento do próprio fluido, que constitui uma corrente de convecção. A condução só pode ocorrer através de um meio material sob efeito de diferenças de temperaturas como uma parede, por exemplo.

A quantidade de calor ( $Q$ ) transportada durante um intervalo de tempo ( $t$ ) em um meio sólido é proporcional à diferença de temperatura e inversamente proporcional a espessura do material. A taxa  $\frac{dQ}{dt}$  é chamado de taxa de transferência de calor ou corrente de calor, sendo dada por:

$$H = \frac{dQ}{dt} = KA \frac{T_H - T_C}{L} \quad (\text{Eq2.1})$$

$\frac{dQ}{dt}$  fornece a quantidade de calor que é transferida através de uma placa ou através de corpo homogêneo que possua uma seção reta, ortogonal à direção do fluxo entre dois pontos sob a temperatura  $T_H$  e  $T_C$ , em um tempo  $dt$ , sendo:

$T_H$  - Temperatura mais alta;

$T_C$  - Temperatura mais baixa;

$L$  - Distância entre os pontos com temperatura  $T_H$  e  $T_C$ ;

$[(T_H - T_C)/L]$  - É a diferença de temperatura por unidade de comprimento; grandeza que fornece o módulo do gradiente de temperatura;

$K$  - coeficiente de condutividade térmica;

$A$  - área transversal ao fluxo de calor.

### 2.3.5.1 Estudos sobre condutividade térmica da terra crua

Laurent (1988) estudou, na França, a influência da densidade seca na condutividade térmica da terra. Para isto utilizou nove amostras de solos diferentes, fabricando placas de 10 cm x 10 cm x 2 cm com teores de água variando de 0, 1, 2, 4 e 8%. Para medição da condutividade térmica foi usada uma espécie de sonda, que foi colocada nas placas. Foi possível ler medidas com precisão de  $\pm 5\%$ . A escala de densidade seca estudada foi de 1,6 a 2,3 g/cm<sup>3</sup>. A condutividade térmica variou 0,3 a 1,4 W/m °K, e pôde-se observar que a medida que cresceu a densidade seca cresceu também a condutividade térmica, e a partir do momento em que a condutividade térmica diminuiu a porosidade total também diminuiu.

Garzon (2001) realizou um estudo comparativo do desempenho térmico de paredes de solo-cimento e de tijolos furados com a mesma espessura (20 cm). O autor constatou que a condutividade térmica da parede de terra foi pouco superior à metade da apresentada pelos tijolos cerâmicos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem por finalidade apresentar os materiais e os métodos empregados no desenvolvimento da dissertação. As normas utilizadas serão citadas e referenciadas, enquanto que os métodos não normatizados serão descritos detalhadamente. Na Figura 3.1 é apresentado um esquema com a metodologia adotada nesta pesquisa.

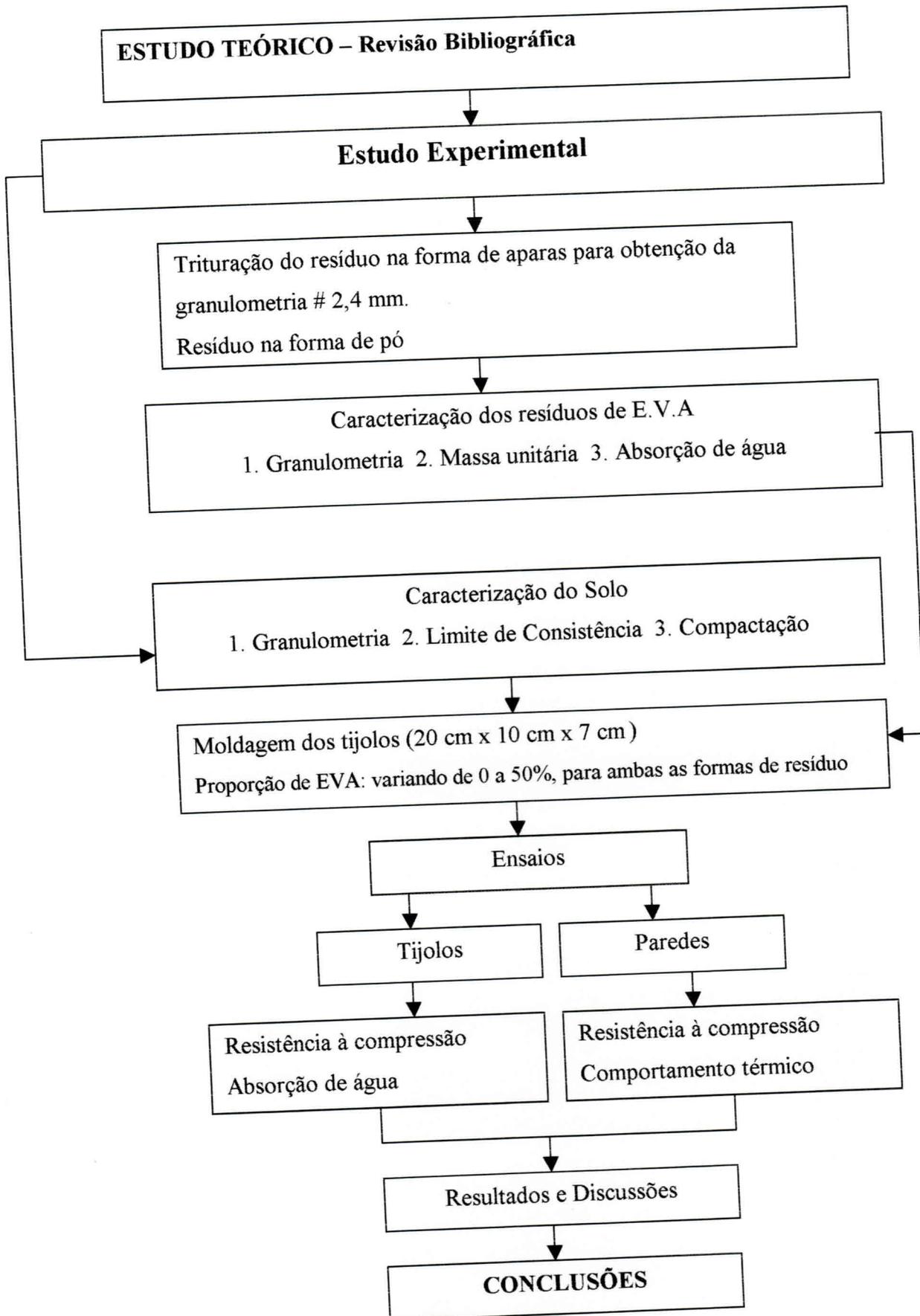


FIGURA 3.1 - Quadro da metodologia adotada

### 3.1 Materiais

#### 3.1.1 Solo

Foram usados três diferentes tipos de solo. O primeiro foi retirado da localidade do Genipapo, em Campina Grande, o qual é conhecido como massame. Os outros dois solos foram oriundos da cidade de João Pessoa, onde um foi obtido na Universidade Federal da Paraíba e o outro na localidade de Jacumã, município de João Pessoa

#### 3.1.2 Cimento

Foi utilizado o cimento tipo CII Z-32.

#### 3.1.3 Água

A água utilizada na pesquisa foi proveniente do açude de Boqueirão, PB fornecida pelo sistema de abastecimento público.

#### 3.1.4 EVA

Os resíduos de EVA foram coletados de uma indústria de calçados do Estado da Paraíba. Eles se apresentavam de duas formas: em pó e na forma de retalhos, como observa-se na Figura 3.2.

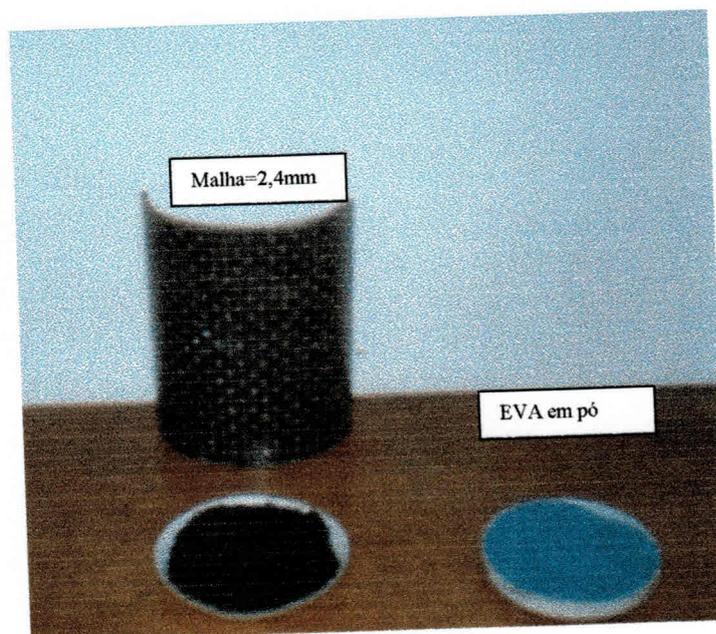


FIGURA 3.2 - Resíduos de EVA

O pó foi empregado da forma em que chegou ao laboratório. Os retalhos foram triturados e peneirados de forma aos grãos passarem na peneira de abertura # 2,4 mm (Figura 3.3 e 3.4).



**FIGURA 3.3** - Moinho de facas rotativas



**FIGURA 3.4** - Detalhe da malha da peneira e dos grãos de EVA

## 3.2 Metodologia

### 3.2.1 Caracterização dos solos e suas misturas

Inicialmente foi caracterizado o solo de Genipapo localidade de Campina Grande, conhecido como massame, que possuía pequena quantidade de finos, não apresentando coesão suficiente para a fabricação de tijolos prensados. Esse solo foi então, misturado com o solo da Universidade Federal da Paraíba de João Pessoa nas proporções volumétricas de 1:1 e 2:1.

Quando da incorporação de EVA às misturas dos solos, observou-se uma perda de plasticidade. Assim, foi necessário usar-se um segundo solo de João Pessoa, obtido no município de Jacumã com maior teor de finos e, conseqüentemente maior limite de plasticidade.

A caracterização dos solos e das misturas foi efetuada de acordo com as normas indicadas na tabela 3.1.

**TABELA3.1** - Ensaio de caracterização dos solos

ENSAIO	NORMA
-Granulometria por peneiramento e sedimentação	ABNT (NBR-7181)
-Limites de consistência	
Limite de liquidez	ABNT (NBR-6459)
Limite de plasticidade	ABNT (NBR-7180)
-Massa específica real	ABNT (NBR- 6508)
-Compactação (Proctor normal) (umidade ótima- $W_{ot}$ e massa específica aparente seca máxima)	ABNT (NBR-7182)

UFPG - BIBLIOTECA

### 3.2.2 Caracterização dos Ensaio de EVA

As duas amostras de EVA foram submetidas aos seguintes ensaios de caracterização:

**TABELA 3.2** - Ensaios de caracterização do EVA

Determinação da massa unitária	NBR - 7251
Determinação da composição granulométrica	NBR - 7217
Determinação da absorção de água	Adaptação do procedimento aplicado por de Bezerra (2002)

A determinação da absorção aplicada em Bezerra (2002), utilizou duas peneiras de malhas 0,075 mm. Para o EVA usado nesta pesquisa, não foi possível a utilização de peneiras, pois após 20 minutos do material imerso havia passagem do mesmo para água. Devido a essa dificuldade optou-se pela utilização de um pano TNT com 60 cm x 30 cm, encontrado no comércio local, para o EVA passante na # 2,4 mm. Para o EVA na forma em pó foi utilizado um tecido tipo flanela com as mesmas dimensões do TNT. Após essa adaptação usou-se o procedimento indicado por Bezerra (2002).

Deixou-se a amostra em ambiente por 24 h à temperatura de  $23 \pm 2$  °C e  $50 \pm 5\%$  de umidade relativa. Pesou-se 60 g da amostra ( $M_s$ ).

Colocou-se a amostra no tecido prendendo-o com uma liga de silicone e o imergindo-o sob uma coluna de água de  $250 \pm 1$  ml por período de 5 min. Para garantir isto, colocou-se o material do tecido dentro de uma cesta de aço, conforme ilustra Figura 3.5.

A amostra foi imersa por um período de 5 min. Passado este período retirou-se a do recipiente e estendeu-se o tecido sobre uma bandeja ao ar livre em ambiente controlado por um período de  $15 \pm 1$  min, para que a água excessiva fosse drenada. A seguir pesou-se a amostra como  $M_{SAT}$  (5min). Utilizando-se do mesmo tecido retornou-se a amostra para o recipiente, imergindo-a novamente na água, repetindo-se o mesmo procedimento para os seguintes períodos totais de imersão: 10 min, 20 min, 30 min, 60 min, 120 min e 24 h.

Obteve-se então o resultado por meio de:

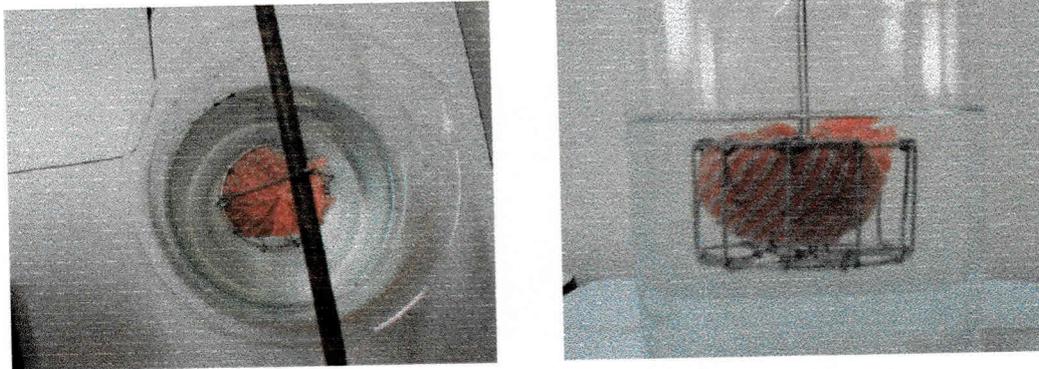
$$\text{Absorção} = \frac{(M_{SAT} - M_s)}{M_s} \times 100; \text{ onde:}$$

$M_{SAT}$  = massa da amostra saturada para cada período;

$M_s$  = massa da amostra seca.

Para o cálculo da massa saturada, retirou-se o peso do tecido molhado, para os dois casos estudados

Traço-se um gráfico (Tempo x absorção) com os valores obtidos.



**FIGURA 3.5** - Detalhe do recipiente usado para o teste de absorção do EVA

### 3.2.3 Mistura de terra-EVA

Com a mistura de solos de Genipapo localizado em Campina Grande e João Pessoa na relação 1:1 foram acrescentadas duas proporções volumétricas de EVA em pó: 25% e 50%. Em seguida, foram feitos os ensaios de Proctor normal, para avaliar preliminarmente o comportamento dessas misturas sob compactação.

### 3.2.4 Tijolos de terra e EVA

Os tijolos foram moldados com o solo de João Pessoa. Fez-se a variação do teor de cimento em 6%, 8% e 10% do peso de terra e da taxa de EVA de 0% a 50% em relação ao volume de terra para as duas formas de resíduos citados.

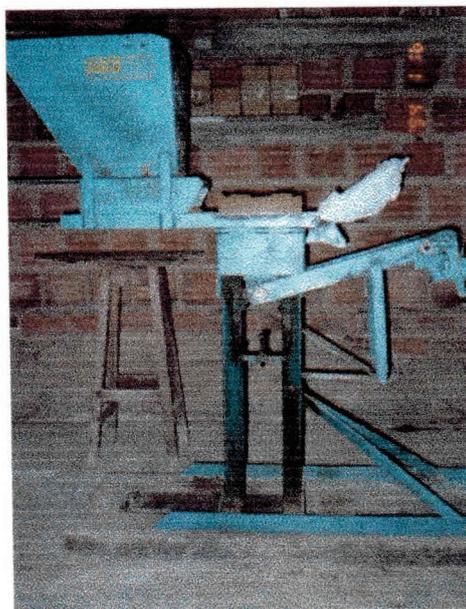
A mistura foi executada em betoneira de eixo inclinado com capacidade para 120 litros. Foi adotado o seguinte procedimento para o preparo da mistura: (a) colocou-se o solo, o cimento e o EVA, esperando-se cerca de 5 min para que houvesse

homogeneização do material; (b) com a cuba em movimento adicionou-se a água com um regador, esperando mais 3 min.

Sempre fez-se uma molhagem nas paredes internas da betoneira para evitar que parte da água fosse por ela adsorvida. Por se tratar de uma mistura que envolve pouca quantidade de água, qualquer perda no seu volume poderia ocasionar modificações nas preparações posteriores.

### ***Moldagem dos Tijolos***

Para moldagem dos tijolos foi utilizada prensa da marca SOLOTESTE (Figura 3.6), com acionamento manual e cuja capacidade de fabricação é de um tijolo por prensagem.

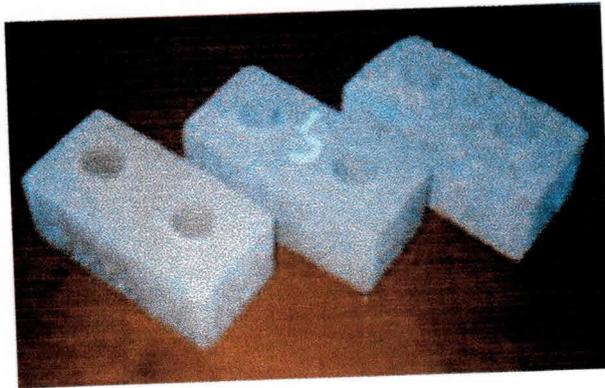


**FIGURA 3.6** - Prensa SOLOTESTE

A moldagem obedeceu ao seguinte procedimento:

- as paredes dos moldes da máquina foram limpas com cal, pois este material foi o que melhor se adequou ao desmolde do tijolo solo-cimento-EVA;
- fixou-se a quantidade de material para prensa em aproximadamente 2,200 kg, pois com esta quantidade de material pôde-se obter tijolos com:  
10 cm de largura por 20 cm de comprimento por aproximadamente 7 cm de altura;

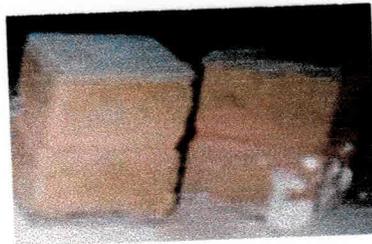
- após serem prensados os tijolos foram medidos e pesados. Imediatamente após a identificação, os tijolos foram levados à cura (cobertos com lona plástica por um período de 16 dias);
- após o período de cura (Figura 3.7), os tijolos foram empilhados e colocados à sombra.



**FIGURA 3.7** - Tijolos após o período de cura

#### ***Determinação da resistência à compressão***

A resistência à compressão simples foi determinada aos 28 dias. Dez tijolos de cada mistura foram utilizados para o teste de compressão. Antes do teste os tijolos foram pesados e suas dimensões medidas. Os corpos de prova foram preparados de acordo com a NBR-8492, sendo serrados ao meio e superpostos, e suas faces foram unidas com uma camada fina de pasta de cimento de 2 a 3 mm de espessura (Figura 3.8). A pasta também foi usada para regularizar a superfície do espécime, de modo que, a carga aplicada fosse uniformemente distribuída. A resistência à compressão simples foi obtida dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do tijolo, descontada a área do furo que correspondia (a cerca de 11% da área bruta).



**FIGURA 3.8** - Corpos de prova para ensaio à compressão

Na Figura 3.9 pode-se observar o detalhe para o ensaio à compressão simples dos tijolos.



**FIGURA 3.9** - Ensaio de resistência à compressão

### ***Determinação da absorção***

Para cada composição foram retirados três tijolos para o teste de absorção, conforme a NBR-8492.

O ensaio de absorção consistiu em secar os tijolos em estufa à 105 °C; em seguida os tijolos foram imersos em um tanque durante 24 horas. Após serem retirados da água, foram enxutos superficialmente com um pano úmido e pesados (antes de decorridos três minutos). A absorção foi calculada por:

$$\text{Absorção} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

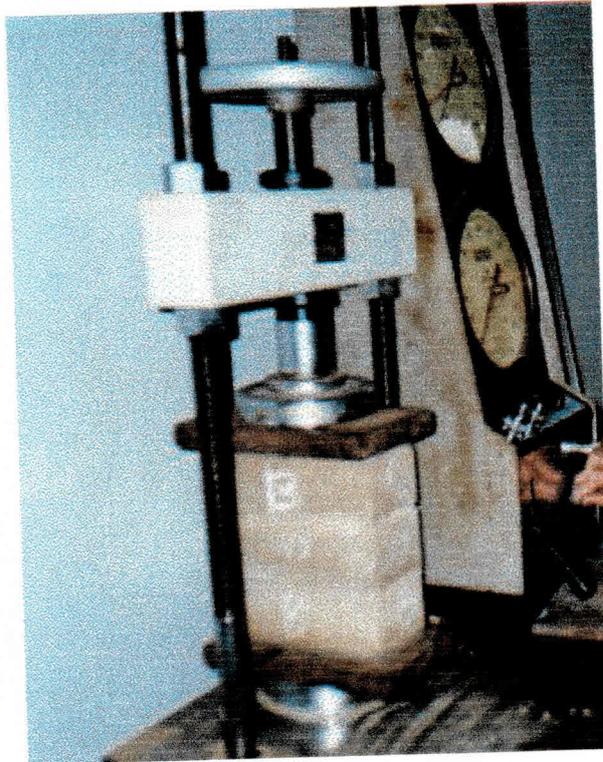
Onde:

$M_1$  = Massa do tijolo seco

$M_2$  = Massa do tijolo saturado.

### 3.2.5 Estudos nos Painéis de Parede

Com a finalidade de analisar o comportamento da alvenaria de tijolos terracimento-EVA, foram ensaiadas quatro paredes no Laboratório de Ensaios e Estruturas da Universidade Federal da Paraíba-UFPB, em João Pessoa. Foram também ensaiados prismas com três tijolos assentados com a mesma argamassa da parede (Figura 3.10).



**FIGURA 3.10** - Ensaio de resistência à compressão de prismas com três tijolos

#### *Características das Paredes*

As quatro paredes foram classificadas de acordo com as misturas de cimento-EVA: Parede A- 10% de EVA e 10% de cimento, parede B- 0% de EVA e 10% de cimento, parede C- 10% de EVA e 6% de cimento e parede D- 0% de EVA e 6% de cimento.

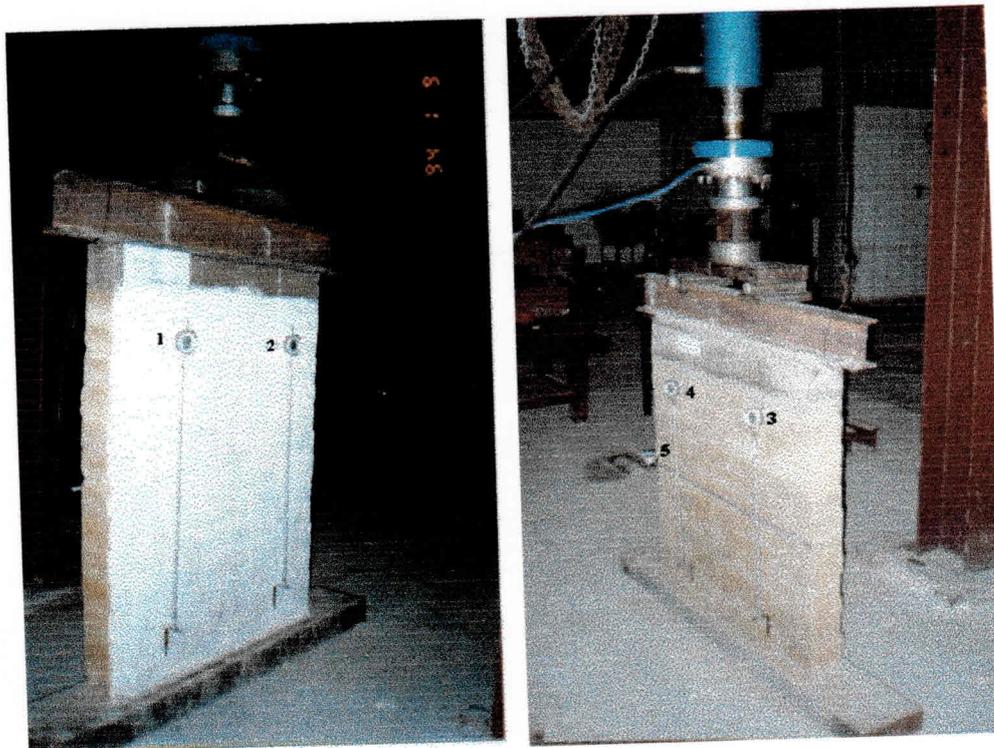
As paredes foram elevadas com 13 fiadas de tijolos. Sua altura final resultou diferente, em virtude de os tijolos apresentarem alturas diversas. Os tijolos com EVA apresentaram sempre maior altura: por exemplo com 10% de borracha a altura média foi de 7,2 cm, enquanto que para os tijolos sem resíduo, essa dimensão foi da ordem de 7,0

cm. As paredes com EVA apresentaram dimensões 80 cm x 94 cm x 10 cm, enquanto que as paredes de solo cimento 80 cm x 92 cm x 10 cm. As paredes foram construídas sobre uma peça de madeira e nela assentadas com uma argamassa de cimento e areia e água. O assentamento dos tijolos foi feito com uma argamassa fluída com 1: 1: 20 de (cimento: cal: solo), de modo que a junta não ultrapassasse 3 mm de espessura. O solo utilizado foi o mesmo para fabricação dos tijolos.

### ***Procedimento Experimental***

A instrumentação foi a mesma seguida por Dallacort, *et al.*, (2002). Foram utilizados cinco extensômetros, um para medir a expansão lateral na largura e quatro para medir a deformação ao longo da altura. Os extensômetros foram conectados através de canaletas de alumínio parafusadas nas paredes.

No topo da parede foi colocada uma viga de concreto, para distribuição uniforme da carga aplicada através de um macaco hidráulico conectado a um pórtico de aço (Figura 3.11).



**FIGURA 3.11** - Instrumentação para o ensaio das paredes

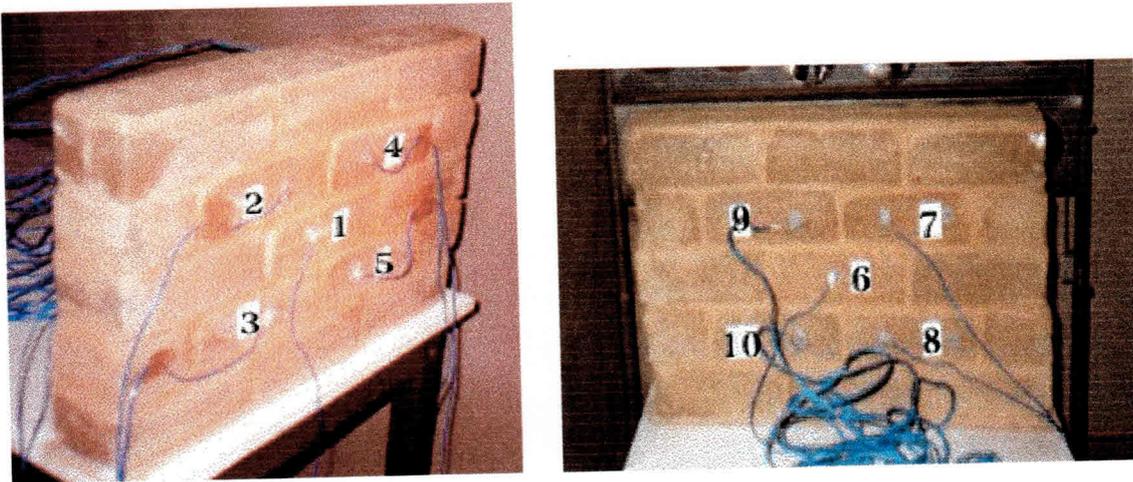
O ensaio foi feito aplicando-se inicialmente uma carga de acomodação. Seguiu-se um carregamento em ciclos aplicados no topo da parede, acompanhando-se sua deformação e seu comportamento até a ruptura. Para parede A o primeiro ciclo foi até 18,75 kN, o segundo até 37,5 kN e o terceiro até a ruptura. Para parede B o primeiro ciclo foi até 15 kN e o segundo até a ruptura. Na parede C o primeiro ciclo foi até 11,25 kN e o segundo até a ruptura. Na parede D o primeiro ciclo foi até 15 kN, o segundo até 45 kN e o terceiro até a ruptura.

### **3.2.6 Verificação do comportamento térmico**

Para o ensaio de verificação do comportamento térmico das paredes, foram ensaiadas duas paredes: uma com 10% de EVA e 10% de cimento e outra com 0% de EVA e 10% de cimento.

As paredes foram elevadas com cinco fiadas de tijolos, apresentando as seguintes dimensões: 60 cm x 38 cm x 10 cm para parede sem EVA, e 60 cm x 42 cm x 10 cm para parede com EVA. Para a realização do ensaio foram colocadas duas lâmpadas de 250 W cada, a uma distância de 60 cm da parede.

Primeiramente verificou-se o comportamento das paredes isoladamente. Para isso foram colocados dez termopares compostos de fio de cobre (+) e constantan (-) com bainha e isolante de plástico. Cinco termopares foram colocados em uma face da parede, de modo que a maior incidência ocorresse no termopar 1 (termopar colocado no tijolo central); na outra face colocou-se os outros termopares, sendo o posicionamento simetricamente oposto, conforme Figura 3.12.



**FIGURA 3.12** - Detalhe para instrumentação do ensaio para verificação do comportamento térmico das paredes

A segunda etapa foi verificar o comportamento térmico das paredes colocadas em série. Novamente as duas lâmpadas foram ligadas com mesma potência e a mesma distância, colocaram-se três termopares em cada face da parede. Para regularização do fluxo de calor nos painéis utilizou-se isopor com 1 cm de espessura; os painéis foram revestidos com papel alumínio para diminuir a dissipação de calor para o meio, conforme Figura 3.13.



**FIGURA 3.13** - Instrumentação para teste de comportamento térmico nas paredes em série

Os termopares foram fixados na parede com massa durepox e ligados a um sistema de aquisição de dados Datalogger CR 10X (Figura 3.14), o qual foi programado para efetuar a coleta de temperatura a cada 5 segundos. Retirando-se as médias a cada 30 minutos.

Os dados coletados pelo sistema de aquisição foram retirados pelo módulo de coleta e transferidos para um computador através do programa PC 208W. Os dados foram trabalhados no programa Microsoft Excel, através da média aritmética.



**FIGURA 3.14** - Instrumento Datalogger

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Caracterização dos Materiais

#### 4.1.1 Solo

A Figura 4.1 e a Tabela 4.1 indicam a granulometria do solo de Genipapo em Campina Grande. Ele apresenta uma pequena porcentagem de silte mais argila e não tem plasticidade, o que o torna não apropriado para o uso em construção com tijolos prensados.

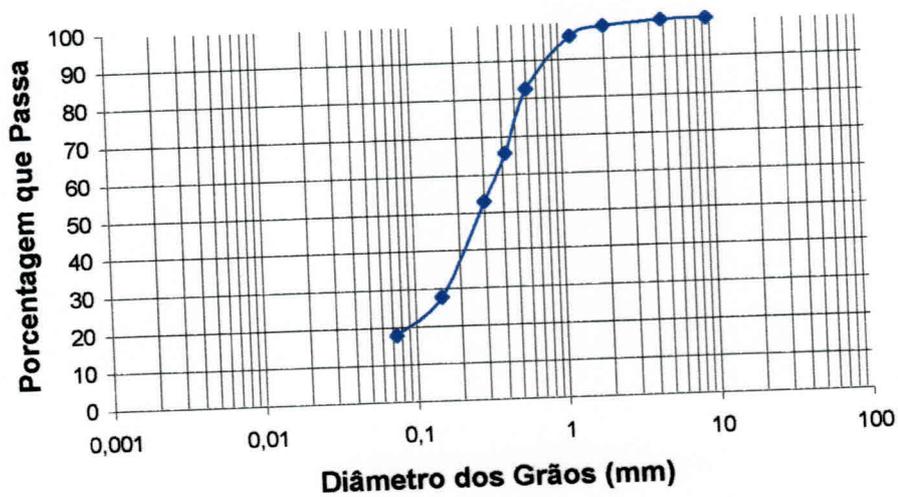


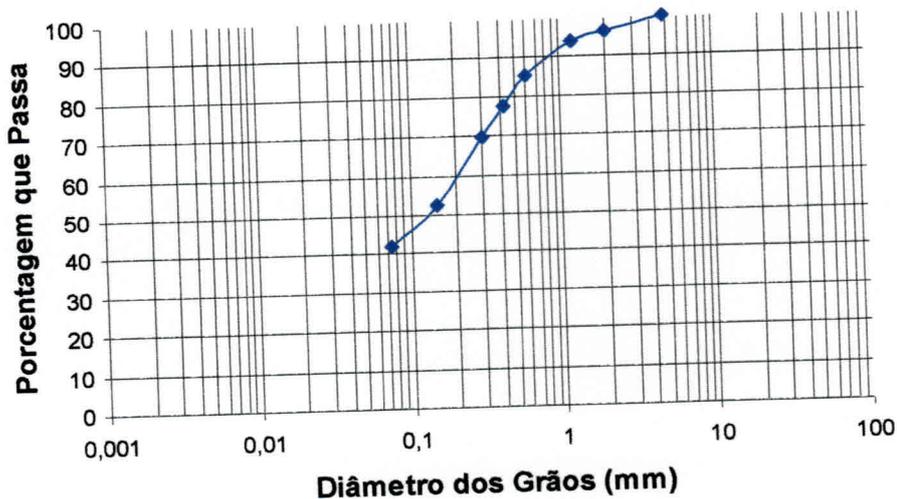
FIGURA 4.1 - Curva granulométrica do solo de Genipapo

**TABELA 4.1** - Resumo das características granulométricas do solo de Genipapo

Material	Porcentagem
Pedregulho	0,11%
Areia	85,89%
Silte + Argila	14,00
LL	-
LP	-
IP	-

Como o solo não apresenta LP nem LL, optou-se pela correção granulométrica. No caso escolheu-se um solo de João Pessoa, o qual foi retirado da Universidade Federal da Paraíba, por apresentar uma porcentagem de finos maior.

A Figura 4.2 apresenta a curva granulométrica do solo de João Pessoa, obtido na Universidade Federal da Paraíba e na Tabela 4.2 pode-se verificar que este solo apresenta uma porcentagem de silte mais argila bem superior ao solo de Genipapo, tendo também plasticidade.

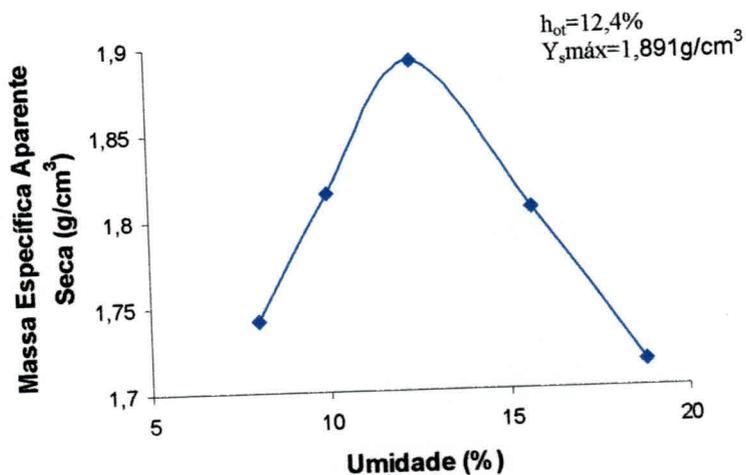


**FIGURA 4.2** - Curva granulométrica do solo de João Pessoa - UFPB

**TABELA 4.2** - Resumo das características granulométricas do solo de João Pessoa - UFPB

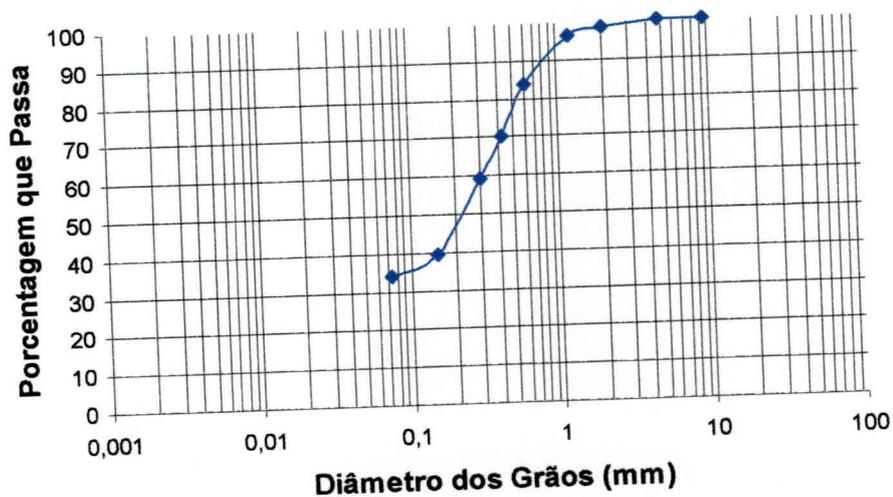
Material	Porcentagem
Pedregulho	0,00
Areia	63
Silte + Argila	37
LL	28,60
LP	18,50
IP	10,10

A Figura 4.3 apresenta a curva de compactação do solo de João Pessoa. Vê-se que se obtém a massa específica aparente seca próxima de 1,9. Esse ensaio fornece uma estimativa da umidade ótima a ser utilizada na fabricação dos tijolos com o solo em questão. No caso ela está entre 12% e 13%.

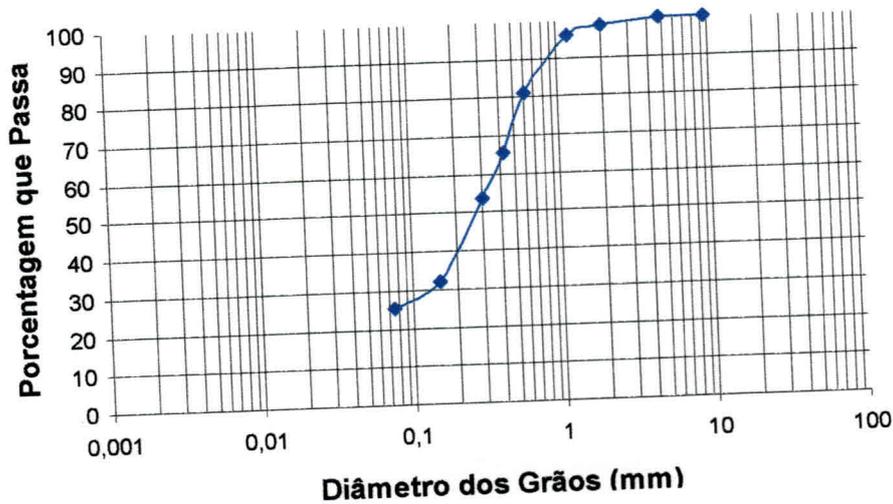


**FIGURA 4.3** - Curva de compactação do solo de João Pessoa - UFPB

As Figuras 4.4 e 4.5 indicam as curvas granulométricas das misturas 1:1 e 2:1, respectivamente.



**FIGURA 4.4** - Curva granulométrica da mistura 1:1 ( solo Genipapo: solo João Pessoa - UFPB)



**FIGURA 4.5** - Curva granulométrica da mistura 2:1 (solo Genipapo: solo João Pessoa - UFPB)

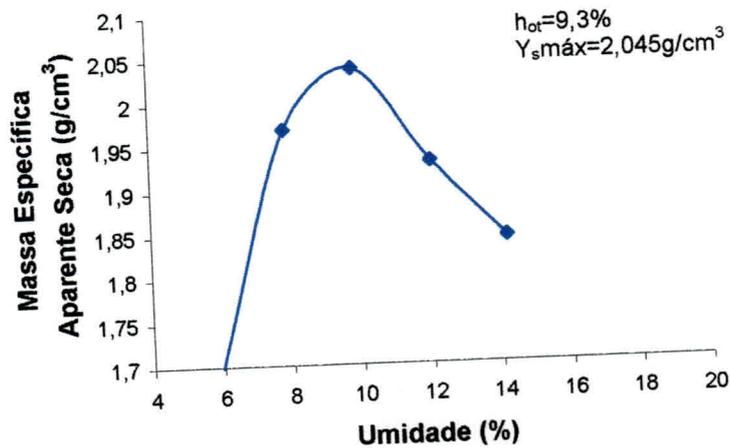
**TABELA 4.3** - Resumo das características granulométricas das misturas

Material	1:1	2:1
Pedregulho	0,10%	0,12%
Areia	67,90%	76,88%
Silte + Argila	32,00%	23,00%
LL	21,60%	19,00%
LP	13,70%	13,00%
IP	7,90%	6,00%

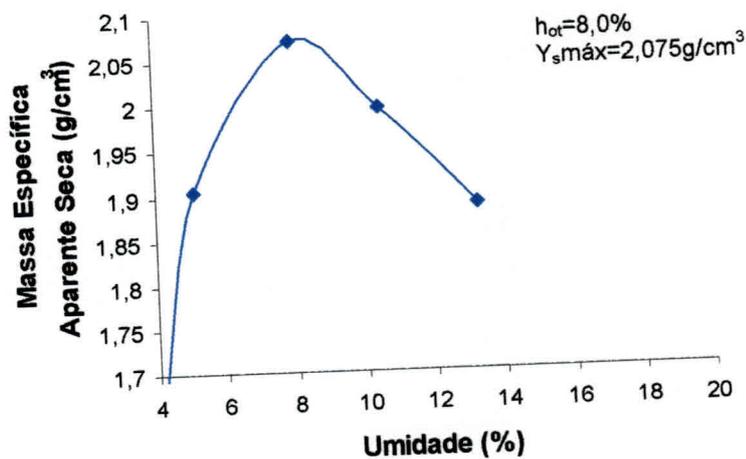
UFCG - BIBLIOTECA

Nota-se que a mistura dos solos com a relação 2:1 tem um teor de finos mais baixo. Normalmente para a fabricação de tijolos prensados se requer teores de silte+argila de pelo menos 25%. Desta forma foi preferível adotar a mistura 1:1, que se aproxima mais deste valor, para a etapa posterior de incorporação do EVA.

As Figuras 4.6 e 4.7 apresentam as curvas de compactação das duas misturas citadas. Observa-se que o aumento do teor de areia faz crescer a massa específica aparente seca do material e diminui a umidade ótima.



**FIGURA 4.6** - Curva de compactação da mistura 1:1 (solo Genipapo: solo João Pessoa UFPB)



**FIGURA 4.7** - Curva de compactação da mistura 2:1 (solo Genipapo: solo João Pessoa - UFPB)

A Figura 4.8 e a Tabela 4.4 indicam os resultados do ensaio de granulometria do segundo solo de João Pessoa, obtido na localidade de Jacumã. Observa-se que o teor de silte + argila é maior, atingindo 42,50%. A umidade ótima aumentou, como observa-se na Figura 4.9.

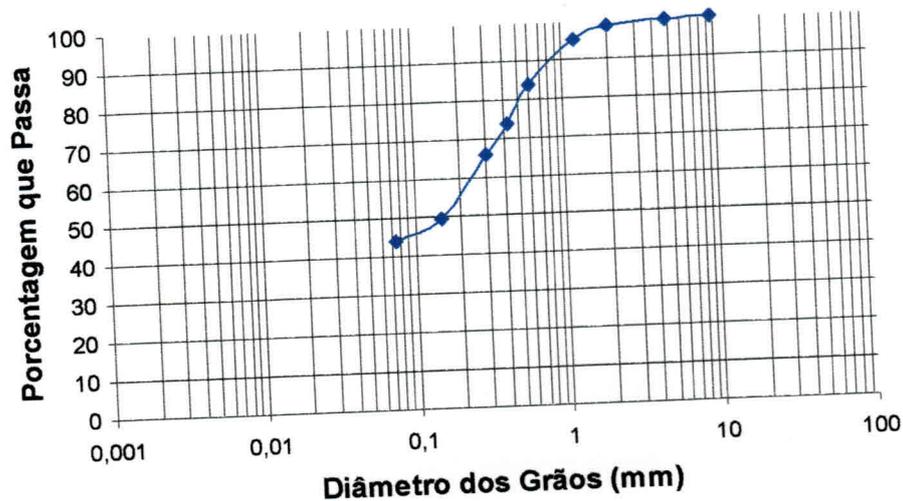


FIGURA 4.8 - Curva granulométrica do solo de Jacumã utilizado na confecção dos tijolos

TABELA 4.4 - Resumo das características granulométricas do solo de Jacumã utilizado na confecção dos tijolos

Material	Porcentagem
Pedregulho	0,30
Areia	57,20
Silte + Argila	42,50
LL	29,00
LP	22,00
IP	7,00

UFCC - BIBLIOTECA

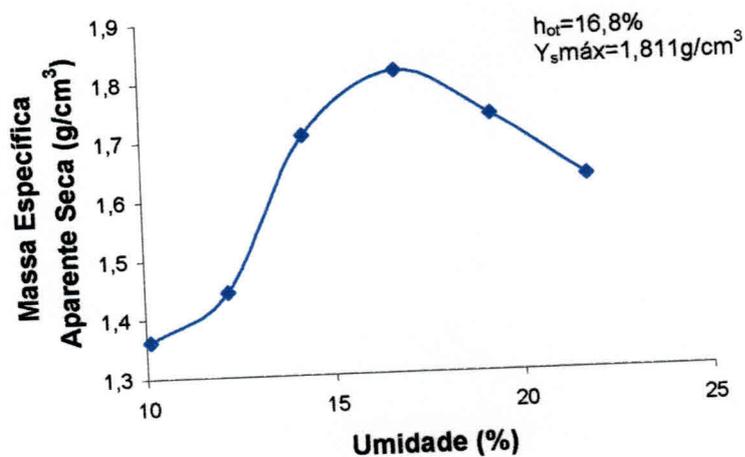


FIGURA 4.9 - Curva de compactação do solo de Jacumã utilizado na moldagem dos tijolos

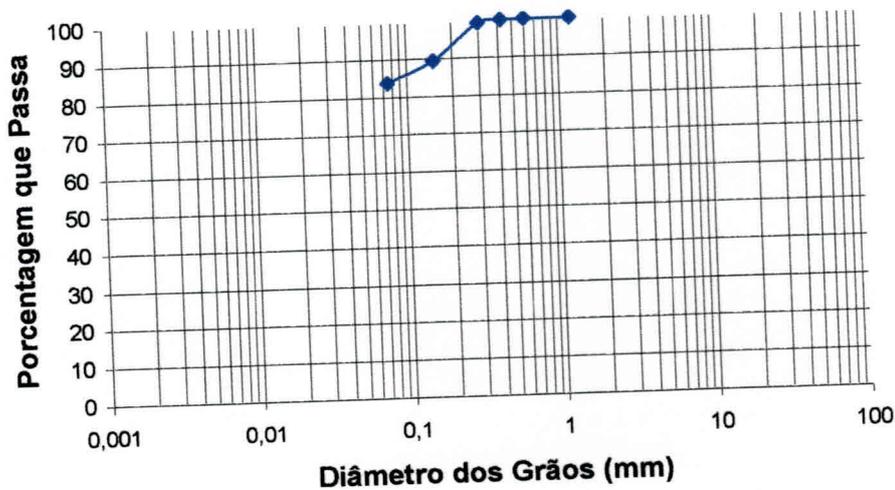
### 4.1.2 EVA

Na Tabela 4.5 estão apresentadas as principais características físicas das duas formas de EVA utilizadas na fabricação dos tijolos.

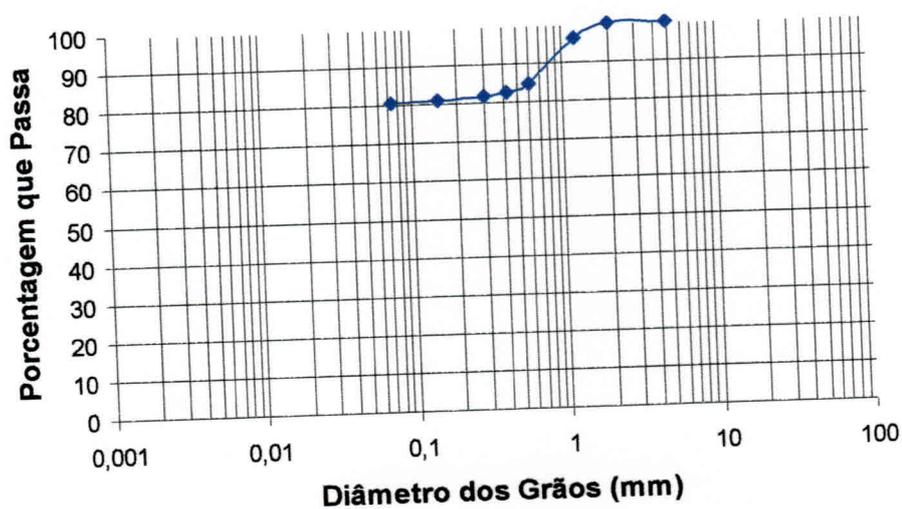
**TABELA 4.5 - Propriedades físicas do EVA**

Propriedades	Valor	
	EVA Pó	EVA # 2,4mm
Massa Unitária (kg/m <sup>3</sup> )	280	167
Absorção de água após 24 h (%)	305	240

Nas Figuras 4.10 e 4.11 estão indicadas as curvas de granulometria dos resíduos de EVA. O resíduo na forma de pó e o triturado na peneira # 2,4 mm.



**FIGURA 4.10 - Curva granulométrica do EVA em pó**



**FIGURA 4.11 - Curva granulométrica EVA # 2,4 mm**

Na Figura 4.12 e 4.13 são apresentadas as curvas de absorção de água para o EVA # 2,4mm e o EVA na forma de pó. Observa-se que o EVA tem um aumento de peso e mesmo após 24h pode continuar absorvendo água, até completar a saturação de seus poros. O EVA na forma de pó absorve mais água do que o EVA que passa na # 2,4 mm, isto é de se esperar, pois quanto menor o diâmetro dos grãos maior será sua absorção. Grãos menores possuem superfícies específicas maiores, tendo, portanto maior área de contato.

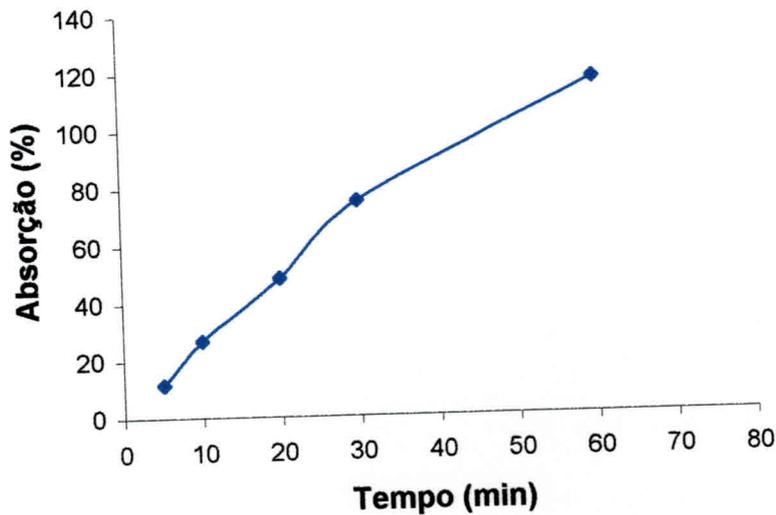


FIGURA 4.12 - Curva de absorção de água para o EVA # 2,4mm

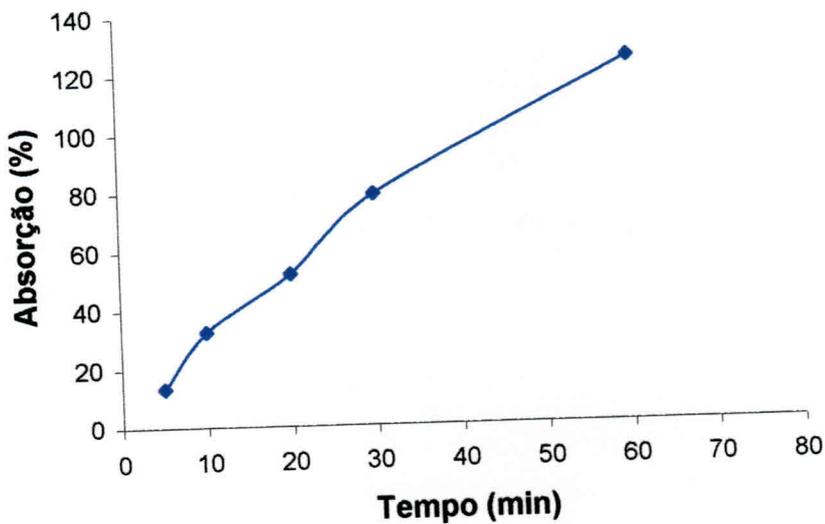


FIGURA 4.13 - Curva de absorção de água para o EVA em pó

### 4.1.3 Solo - EVA

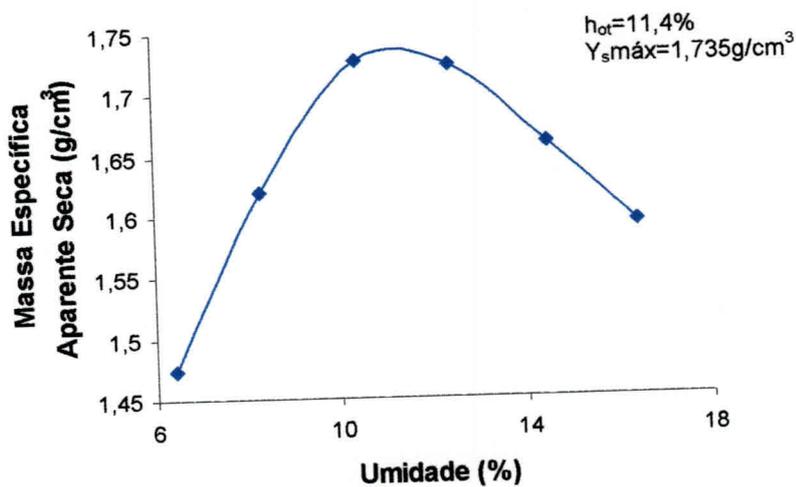
Após optar-se pelo traço 1:1 acrescentou-se o EVA. Foram feitos alguns testes preliminares, com finalidade de caracterização do material.

A Tabela 4.6 indica que quando se incorpora o EVA a plasticidade cai, chegando mesmo a não ser observada, como no caso da relação volumétrica de 50% de EVA

**TABELA 4.6 - Caracterização da mistura**

Solo 50%CG e 50% JP	Borracha	%Areia	LL	LP	IP
1:1	0,25	69	18,7	10,4	4,3
1:1	0,50	72	15,0	-	-

A Figura 4.14 mostra o ensaio de compactação para mistura 1: 1: 0,25. Nota-se que a curva fica mais aberta do que aquela na qual não se tinha EVA.



**FIGURA 4.14 - Curva de compactação da mistura 1: 1: 0,25 para o primeiro solo utilizado**

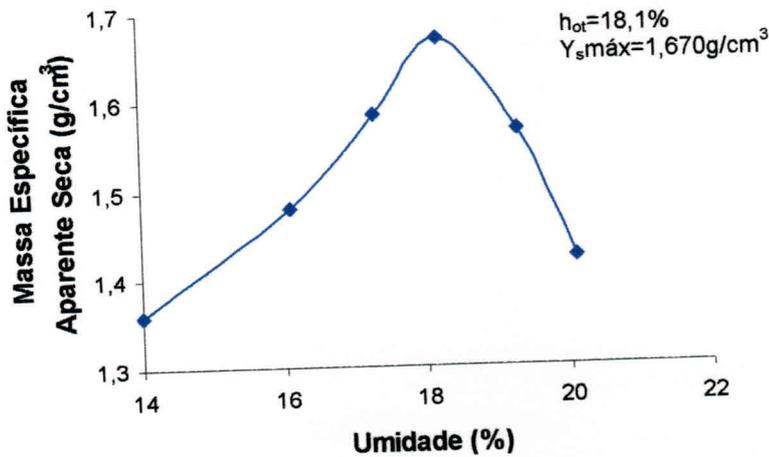
Devido à perda de plasticidade do solo com o acréscimo do EVA, optou-se apenas pelo solo de Jacumã localidade de João Pessoa. Como a jazida era diferente fez-se novos testes para sua caracterização. A incorporação de 25% de EVA fez cair o LP de 22% para 16% (Tabela 4.7); quando se usou 50% de EVA, a mistura perdeu completamente a plasticidade. A curva de compactação (Figura 4.15) indica que a

umidade ótima aumentou de 16,8% para 18,1% quando se usou 25% de EVA, enquanto a massa específica aparente seca diminuiu de  $1,811 \text{ g/cm}^3$  para  $1,670 \text{ g/cm}^3$ .

**TABELA 4.7 - Caracterização do solo de Jacumã - João Pessoa mais EVA em pó**

Solo de João Pessoa	EVA	%Areia	LL	LP	IP
1	0,25	61,4	24	16	8,0
1	0,50	63	19	-	-

A Figura 4.15 indica o ensaio de compactação para a mistura 1: 0,25.



**FIGURA 4.15 - Curva de compactação da mistura 1: 0,25**

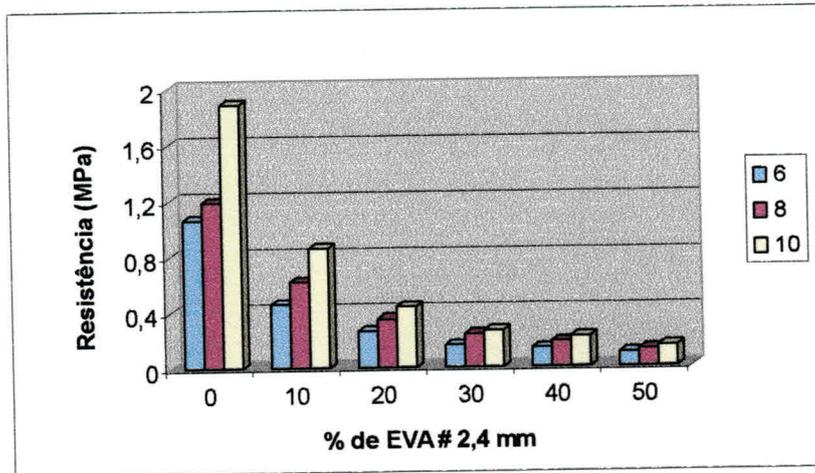
Na realidade o ensaio de Proctor (que é um teste dinâmico) não é adequado para obtenção da umidade ótima em tijolos prensados, os quais durante a fabricação são submetidos a compactação estática. No entanto, esse tipo de ensaio serviu de base para o início do trabalho experimental.

## 4.2 Estudo dos tijolos

### 4.2.1 Estudo da resistência dos tijolos

Os tijolos foram moldados com o segundo solo de João Pessoa. A resistência à compressão simples não muito elevada, pode-se explicar pela baixa capacidade da

prensa. As Figuras 4.16 e 4.17 indicam a resistência média de dez tijolos. Trata-se da resistência do material em si, visto ter sido descontado a área dos furos.

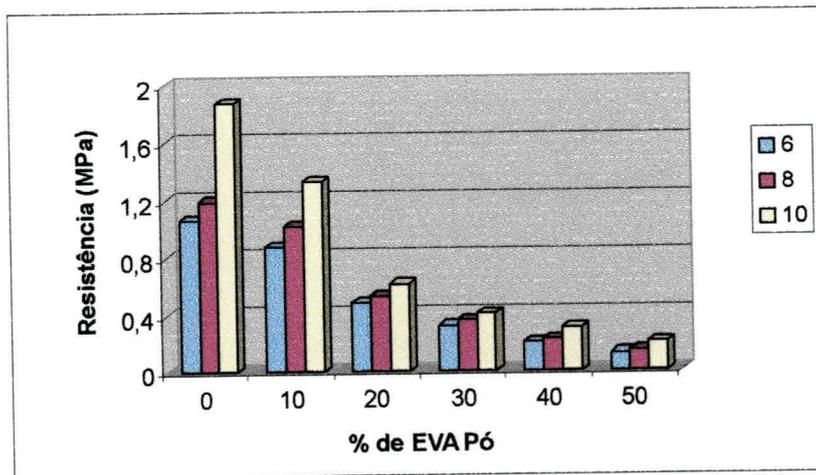


**FIGURA 4.16** - Influência da porcentagem de cimento e do teor volumétrico de EVA # 2,4 mm na resistência à compressão dos tijolos solo-cimento-EVA

Na Figura 4.16 apresenta-se os resultados da resistência à compressão dos tijolos com teores de cimento 6, 8 e 10% e o teores de EVA de 0, 10, 20, 30, 40 e 50% com granulometria inferior a 2,4 mm.

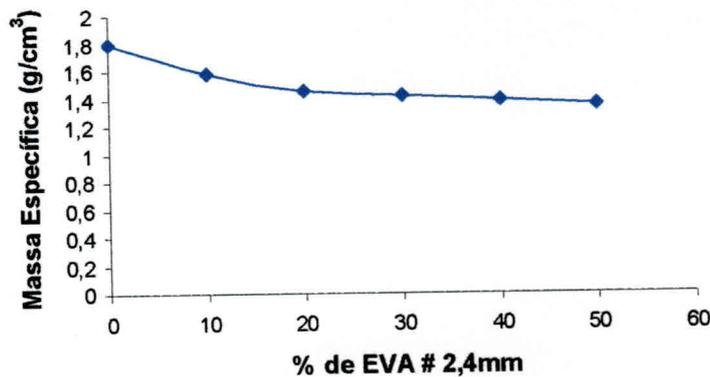
Observa-se que com essa granulometria o uso do EVA penaliza fortemente a resistência à compressão dos tijolos. A simples adição de 10% de EVA em volume faz cair pela metade a resistência dos tijolos. No processo de confecção dos tijolos, a partir de 30% de EVA, sentiu-se necessidade de um acréscimo da quantidade de água. As baixas resistências obtidas indicam que a incorporação de teores maiores que 10% de EVA passa a ser desaconselhada.

A Figura 4.17 indica o que ocorreu com a resistência à compressão simples dos tijolos nos quais se adicionou EVA em pó. Observa-se um melhor desempenho que no caso anterior, embora taxas acima de 10% em diante conduzam a resistência muito baixa para elementos construtivos.



**FIGURA 4.17** - Influência da porcentagem de cimento e do teor volumétrico de EVA em pó na resistência à compressão dos tijolos solo-cimento-EVA

Nas Figuras 4.18 e 4.19, observa-se como decresce a massa específica com o teor de EVA incorporado. Os resultados plotados referem-se aos valores médios relativos aos tijolos com as três proporções de cimento estudadas. Não observou-se variação da massa específica dos tijolos em relação a quantidade de cimento adicionada.

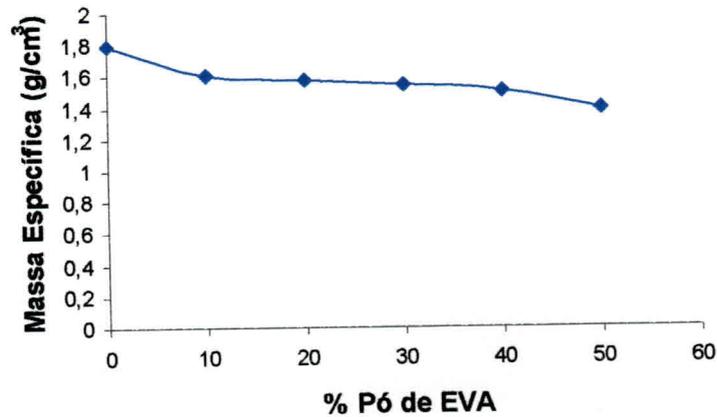


**FIGURA 4.18** - Massa específica dos tijolos com EVA # 2,4 mm

Quando se incorporou EVA ao solo, a pressão aplicada não conseguiu fornecer a densidade seca do ensaio de compactação. Com o aumento do teor de EVA a densidade diminuiu e conseqüentemente a resistência à compressão simples também.

Quando se usa o EVA em pó, (Figura 4.19) nota-se que a perda na densidade foi menor do que no caso da borracha com dimensões de 2,4 mm. A simples

incorporação volumétrica de 10% de pó reduziu a densidade para 92% daquela correspondente ao tijolo sem EVA.



**FIGURA 4.19** - Massa específica de tijolos com EVA em pó

#### 4.2.2 Absorção

Nas Tabelas 4.8 e 4.9 observa-se a absorção média de três tijolos para cada mistura após 24 horas de imersão.

**TABELA 4.8** - Resultados de absorção média dos tijolos solo-cimento-EVA # 2,4 mm

Porcentagem de EVA # 2,4mm	Absorção média(%)		
	Porcentagem de cimento (%)		
	6	8	10
0	13,5	12,8	12,4
10	17,3	16,8	16,2
20	22,1	22,0	21,3
30	30,4	30,1	29,0
40	37,6	36,9	36,1
50	42,0	41,0	39,6

**TABELA 4.9** - Resultados de absorção média dos tijolos-solo-cimento-EVA em pó

Porcentagem de EVA em Pó	Absorção média(%)		
	Porcentagem de cimento (%)		
	6	8	10
0	13,5	12,8	12,4
10	22,2	20,7	19,2
20	34,6	33,8	33,2
30	42,4	41,3	38,7
40	47,8	47,4	46,1
50	59	55	52

Pode-se observar que existe uma tendência da absorção aumentar à medida que se eleva o teor de EVA, tanto na granulometria # 2,4 mm como na forma em pó. Observa-se também que a absorção d'água aumenta para uma menor quantidade de cimento. Para 10% de EVA que passa na # 2,4 mm, a absorção máxima foi de 17,3% para 6% de cimento, valor que esta abaixo do limite máximo de 20% indicado na NBR 8491. Para 10% de EVA em pó o único valor que ficou abaixo do preconizado pela norma foi de 19,2% para 10% de cimento. Nos tijolos com EVA em pó a absorção foi sempre maior que a dos correspondentes com EVA # 2,4 mm

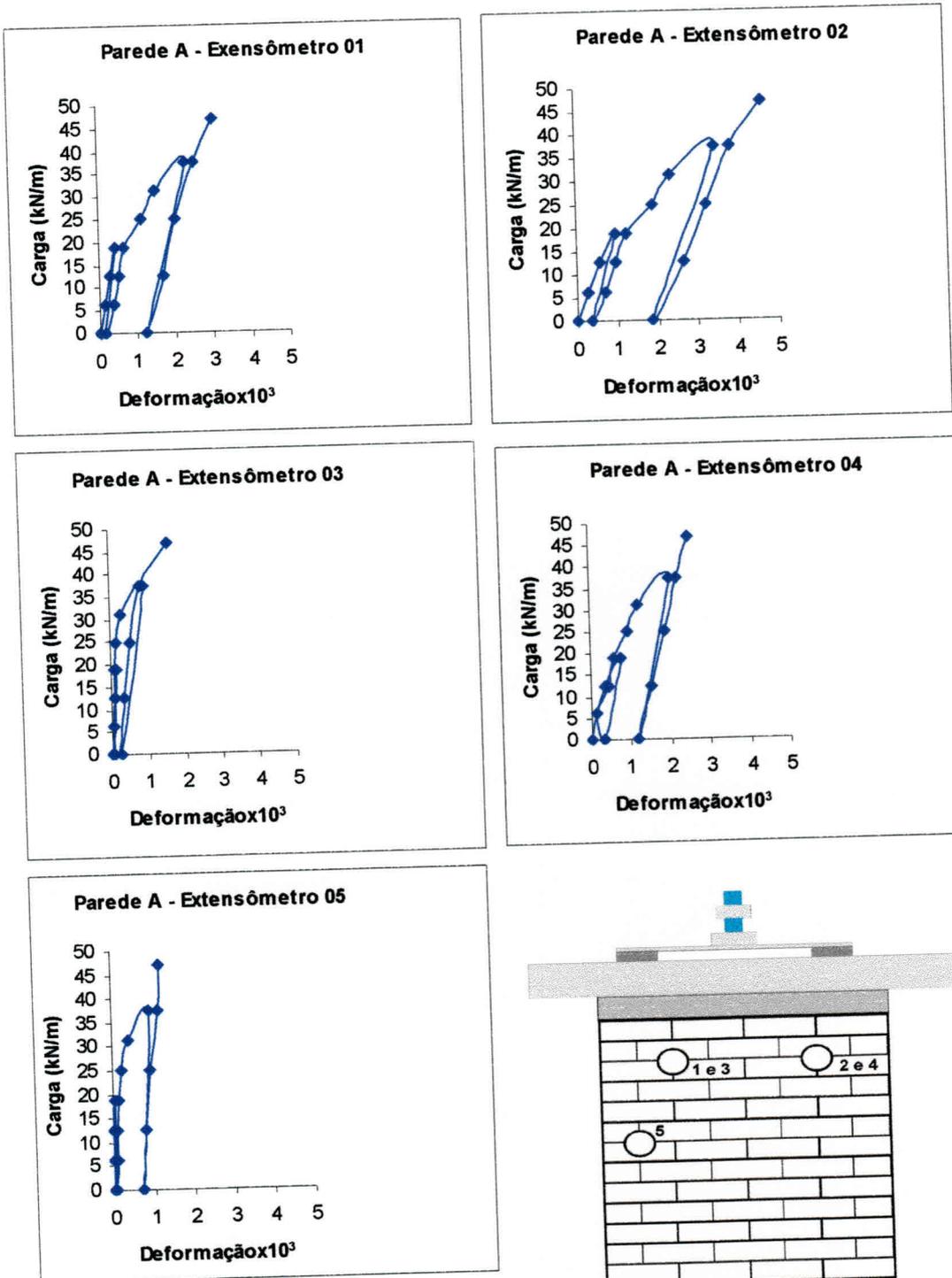
Valores de incorporação de EVA maiores que 10% conduzem à absorção exagerada, imprópria para elemento construtivo que possa ter contato com a água.

### 4.3 Estudo das Paredes

#### 4.3.1 Ensaio da primeira parede

A parede A composta por tijolos com 10% de EVA em pó e de 10% de cimento apresentou dimensões com 80 cm x 94 cm.

A Figura 4.20 indica os diagramas carga x deformação nos cinco extensômetros utilizados.



**FIGURA 4.20** - Curvas carga deformação da parede A (10% de EVA com 10% de cimento)

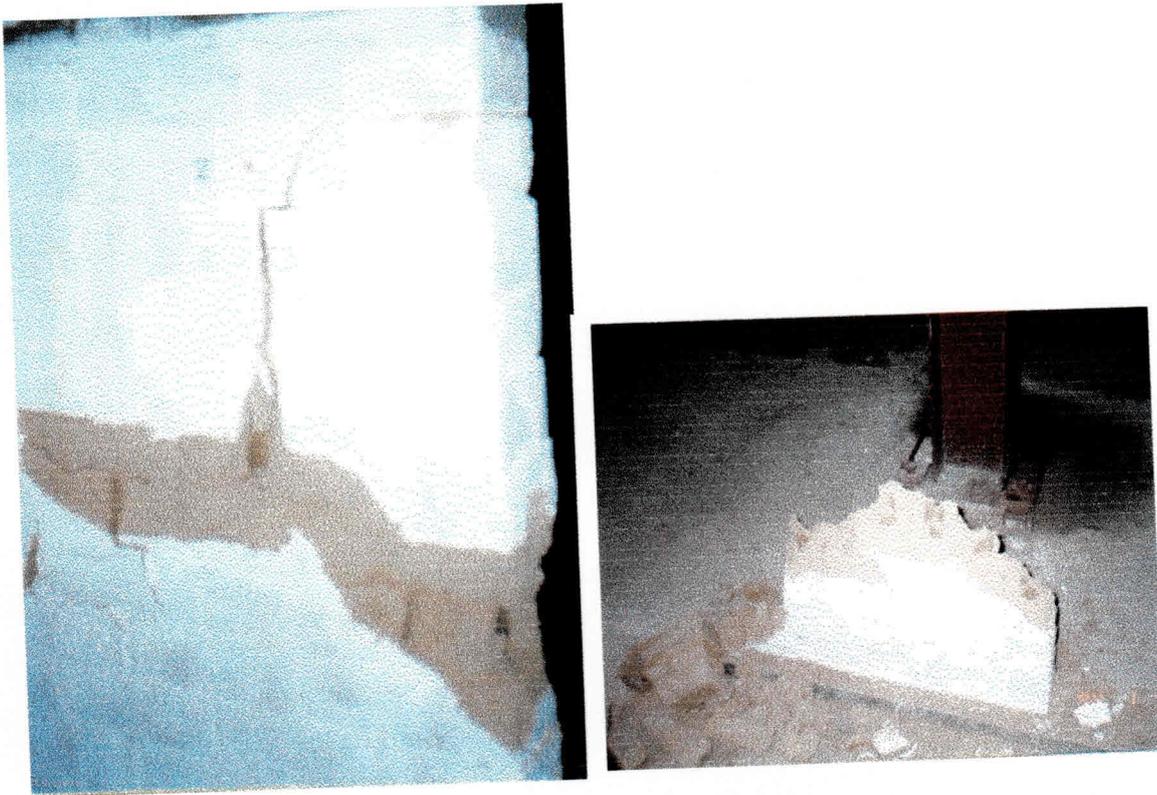
Analisando-se as curvas obtidas, observa-se que houve uma excentricidade de carregamento, pois os extensômetros 02 e 04 indicam deformações que atingem 3,4 e 2,3 respectivamente, enquanto os extensômetros 01 e 03 atingem 2,0 e 0,93, para o carregamento de 37,5 kN/m do segundo ciclo. Após o primeiro ciclo de carga

correspondente a 18,7 kN/m, praticamente não houve deformação; residual, esta só apareceu no segundo ciclo de descarregamento (após 37,5 kN/m).

As deformações horizontais só foram perceptíveis para cargas superiores à 12,5 kN/m do (primeiro ciclo) correspondente a aproximadamente, 1/4 da carga de ruptura.

Durante o ensaio observou-se que no primeiro e no segundo ciclo de carregamento e descarregamento não houve aparecimento de fissuras. Estas foram detectadas a partir do terceiro ciclo quando se atingiu a carga de 37,5 kN/m correspondente a 30 kN. Com a carga de 46,9 kN/m, cerca de 37,5 kN, iniciou-se o processo de separação da parte superficial de alguns tijolos e a separação da argamassa do tijolo entre a quinta e sexta fiada da parte superior. A partir dessa ocorrência foram retirados os extensômetros e levou-se a parede à ruptura, conforme Figura 4.21.





**FIGURA - 4.21** Esquema da ruptura da parede A

#### 4.3.2 Ensaio da segunda parede

A parede B, caracterizada por apresentar 0 % de EVA e 10% de cimento, apresentou dimensões médias de 80 cm x 92 cm. A Figura 4.22 indica as curvas de carga x deformação.

Foram aplicados dois ciclos de carga: o primeiro de 0 a 15 kN/m e o segundo de 0 a 76,25 kN/m. Como praticamente não houve deformação residual após o primeiro ciclo, as curvas do primeiro e do segundo ciclo coincidiram.

Mais uma vez pôde-se observar uma excentricidade, pois os extensômetros 02 e 04 apresentam deformações superiores àquelas dos extensômetros 01 e 03.

As deformações horizontais só foram perceptíveis para cargas superiores a 25 kN/m, que corresponde a, aproximadamente, a 1/3 da carga de ruptura. As primeiras fissuras foram observadas a partir de 65 kN/m; com o aumento da carga para 76,25 kN/m foi possível observar a propagação dessas fissuras até o centro da parede e observar a separação entre tijolo e argamassa

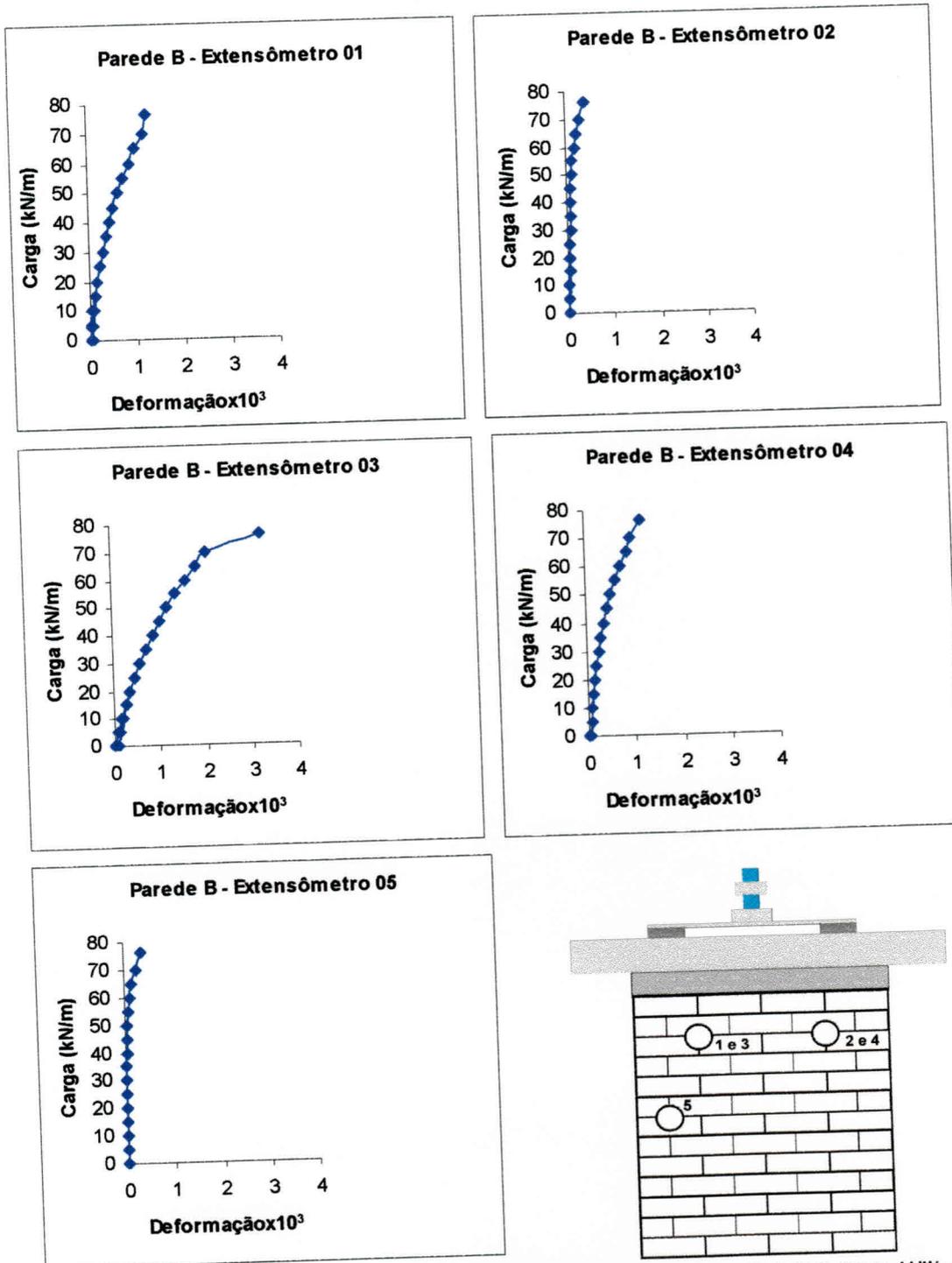
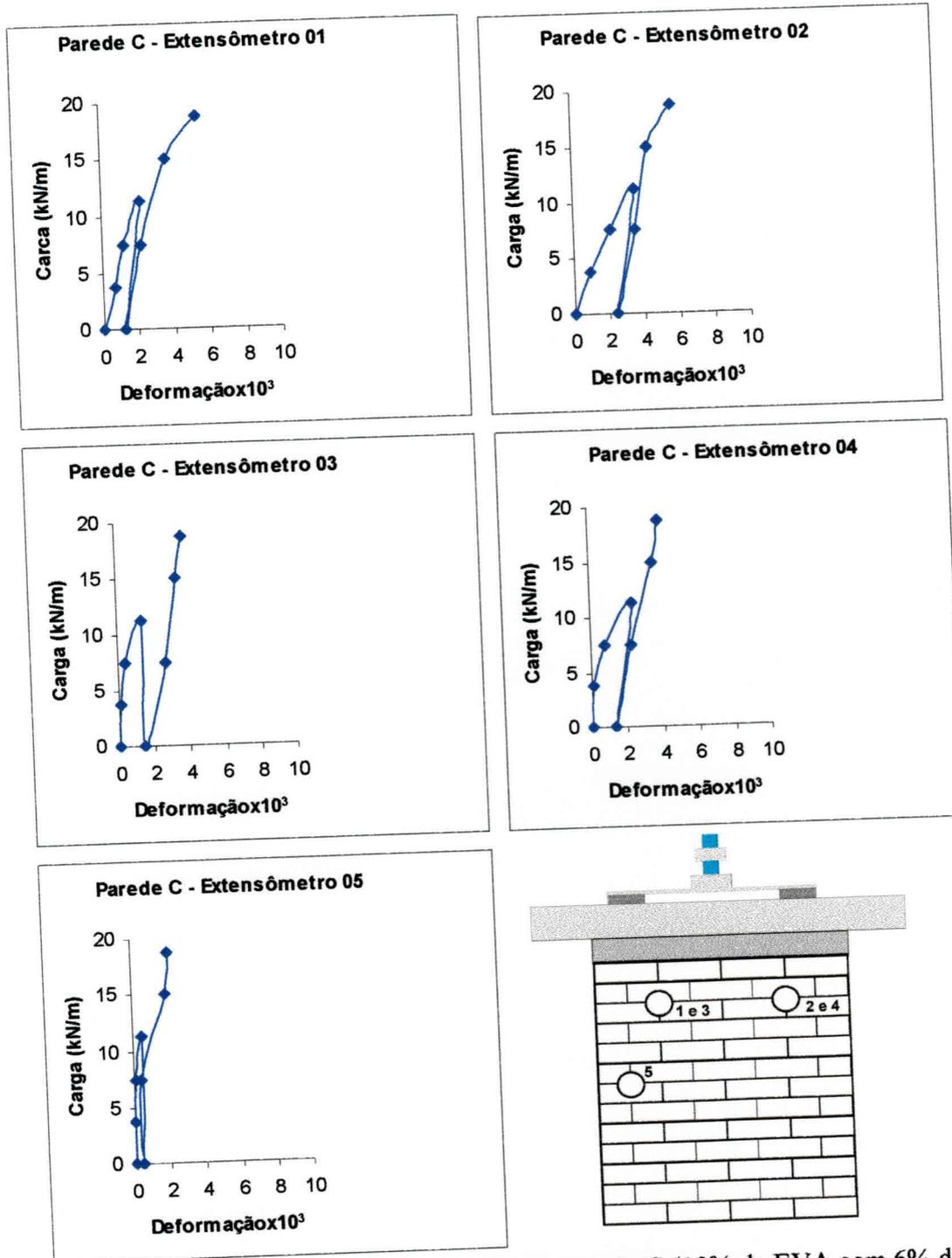


FIGURA 4.22 - Curvas carga deformação para parede B (0% de EVA com 10% de cimento)

### 4.3.3 Ensaio da terceira parede

A parede C, composta por tijolos com 10% de EVA em pó e 6% de cimento, apresentou dimensões médias de 80 cm x 94 cm. A Figura 4.23 indica os diagramas de carga x deformação.



**FIGURA 4.23** - Curvas carga deformação da parede C (10% de EVA com 6% de cimento)

É possível observar-se novamente que houve excentricidade no carregamento, pois os extensômetros 02 e 04, ambos simetricamente opostos, apresentam deformações superiores àquelas obtidas pelos extensômetros 01 e 03. Pôde-se perceber a menor

rigidez da parede em relação a parede B. As deformações residuais foram maiores do que as anteriores.

As deformações horizontais foram perceptíveis para carga de 3,75 kN/m, correspondente a aproximadamente, 1/4 da carga de ruptura.

No ensaio foi possível visualizar as primeiras fissuras a partir do segundo ciclo. Elas ocorreram com carga de 15 kN/m. Com o aumento para 18,75 kN/m ocorreram fissuras em mais de um ponto da parede, inclusive com separação entre a argamassa de assentamento e o tijolo na parte superior.

#### 4.3.4 Ensaio da quarta parede

A parede D apresentou dimensões médias de 80 cm x 92 cm e seus tijolos eram compostos por 0% de EVA e 6% de cimento.

Na Figura. 4.24 observam-se os diagramas das curvas carga x deformação. Nota-se uma excentricidade no carregamento, pois os extensômetros 02 e 04 apresentam deformações superiores àquelas dos extensômetros 01 e 03.

Para o ciclo de carga correspondente a 15 kN/m não houve deformação residual, estas só apareceram a partir do segundo ciclo de descarregamento após 45 kN/m.

As deformações horizontais só foram perceptíveis a partir de 20 kN/m correspondente a, aproximadamente, 1/2 da carga de ruptura.

Durante o ensaio, após o término do segundo ciclo, parou-se o ensaio para tentar corrigir a excentricidade. O aparecimento de fissuras só foi verificado a partir do terceiro ciclo com carga de 50 kN/m, correspondente a 40 kN. As primeiras fissuras ocorreram na base da parede no lado dos extensômetros 02 e 04, situados na face da parede que recebeu carga mais elevada. Com a elevação da carga para 51,25 kN/m foi possível observar a separação entre a argamassa e o tijolo e uma propagação da fissuração a partir da base para o centro da parede. Pôde-se observar claramente que as deformações foram menores em relação às paredes nas quais os tijolos continham EVA em sua composição.

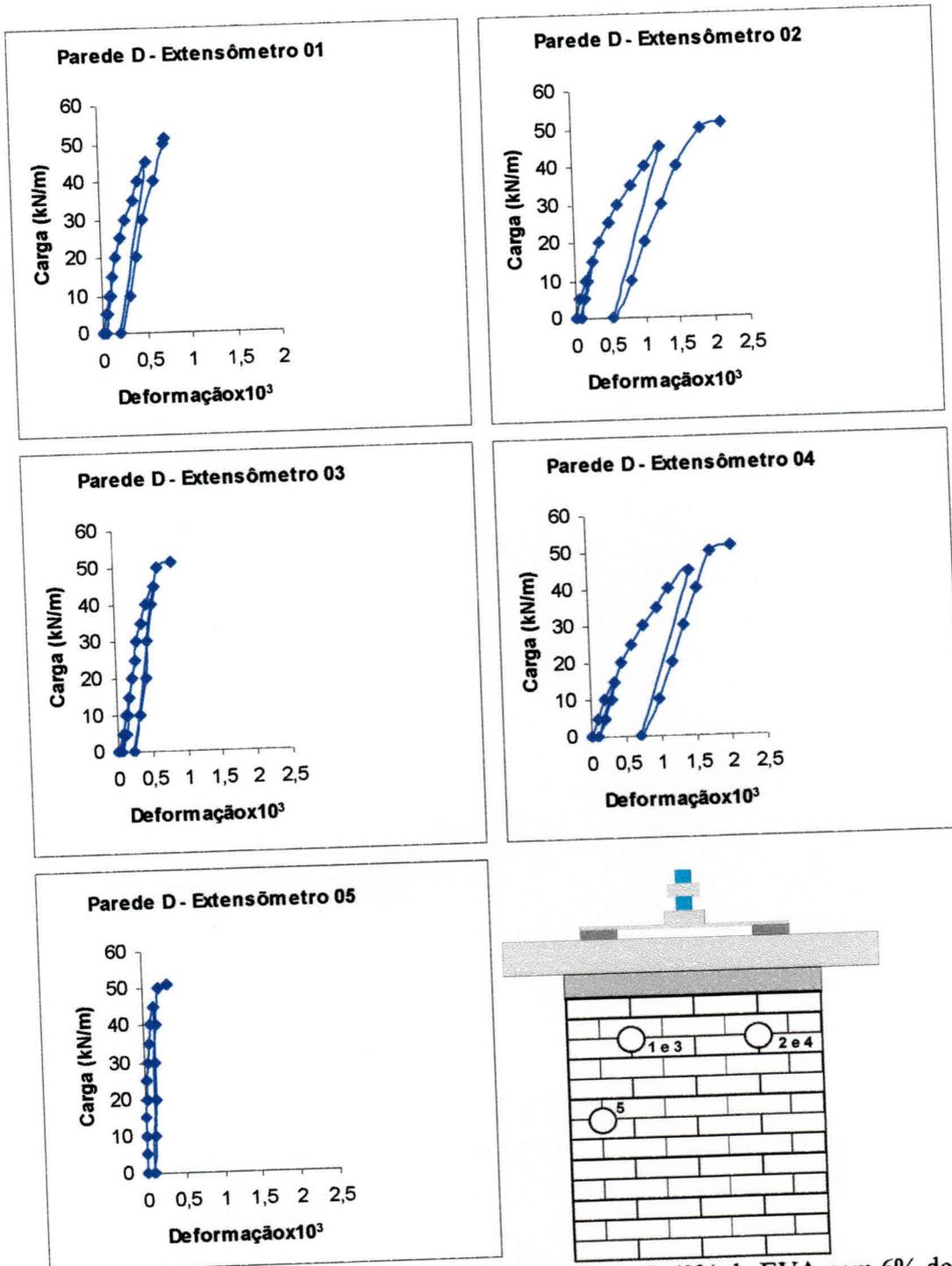


FIGURA 4.24 - Curvas carga deformação da parede D (0% de EVA com 6% de cimento)

#### 4.4 Sumário dos resultados

A Tabela 4.10 indica um resumo do ensaio de paredes, corpos de prova dos tijolos. Considerou-se a tensão correspondente a área bruta (sem descontar os furos).

**TABELA 4.10** - Resumo dos ensaios das paredes

Paredes	Carga de ruptura (kN/m)	Tensão média correspondente (MPa)	Resistência do tijolo (MPa)	Resistência do prisma (MPa)
A (10% EVA e 10% de cimento)	46,9	0,47	1,20	0,62
B (0% EVA e 10% de cimento)	76,25	0,76	1,69	1,7
C (10% EVA e 6% de cimento)	18,75	0,19	0,78	0,34
D (0% EVA e 6% de cimento)	51,25	0,51	1,06	1,10

É interessante mostrar que, quando não se tem EVA incorporado, a resistência do prisma tornou-se praticamente igual à do tijolo. Com a presença da borracha a resistência do prisma reduziu-se para cerca da metade da resistência do tijolo. Isto pode ser justificado pelo fato de as partículas de EVA em pó não apresentarem uma boa aderência com a matriz terra-cimento. O prisma apresentou altura até 33% superior àquela das duas metades de tijolo que constituem o corpo de prova do ensaio à compressão simples. Assim, o efeito do confinamento provocado pelo prato da máquina de ensaio se faz sentir menos provavelmente nos prismas. Devido ao coeficiente de Poisson, o tijolo central do prisma ficou submetido a tensões de tração transversais, e como a aderência da matriz com as partículas de borracha foi pequena, apareceram fissuras num nível de tensão mais baixo, levando a uma ruptura prematura da parede.

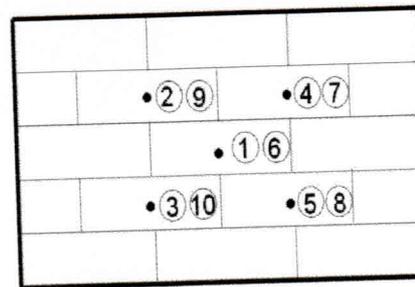
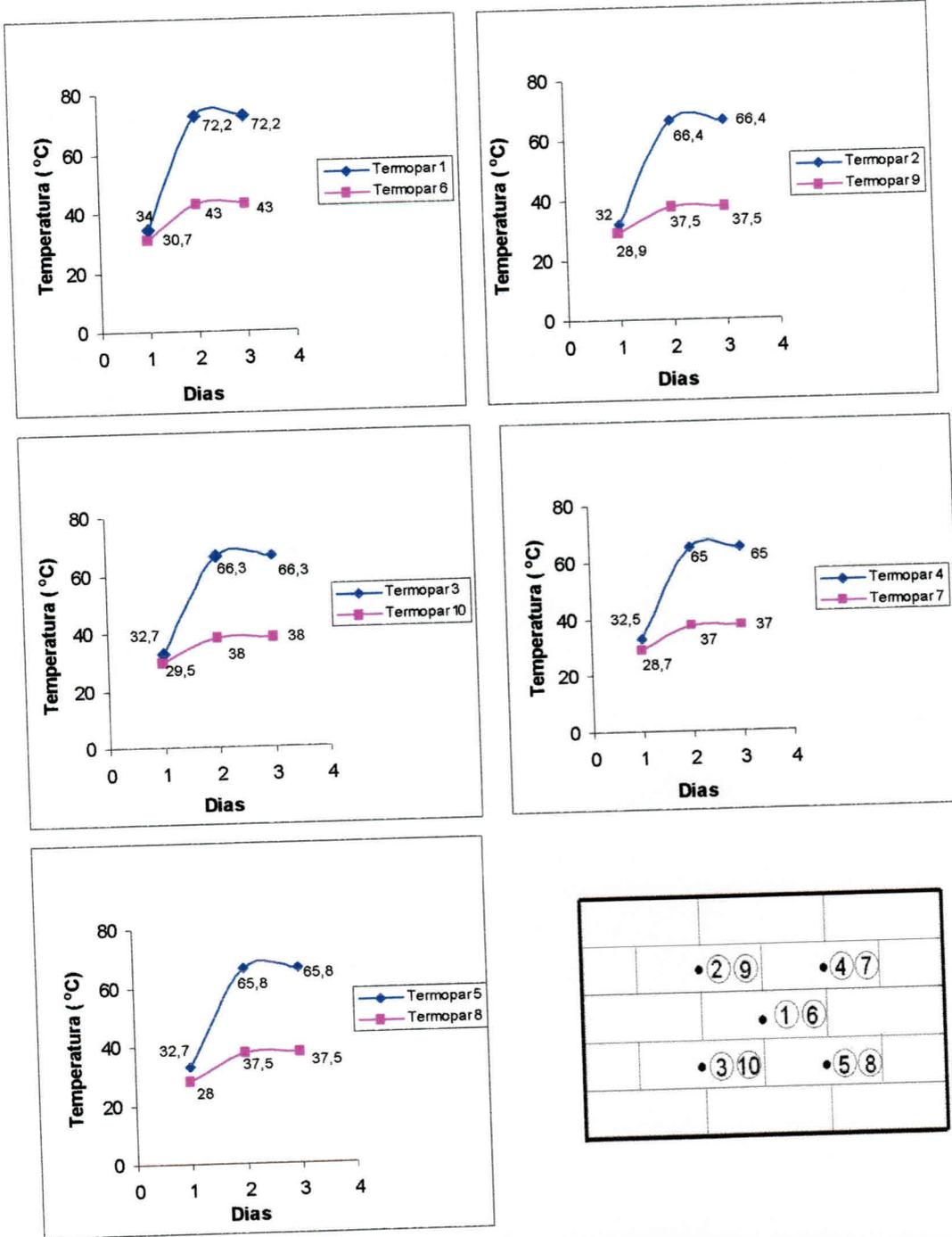
A tensão média nos tijolos quando ocorreu a ruptura foi sempre bem inferior à resistência medida nos corpos de prova. Um dos motivos que contribuíram para essa diferença é que nos ensaios ocorreram sempre pequenas excentricidades de cargas. Assim, a tensão máxima que de fato ocorre é superior à tensão média indicada. Outro motivo é o fato de que a parede apresenta uma esbeltez muito superior àquela do corpo de prova no qual se media a resistência do tijolo.

#### 4.5 Comportamento térmico das paredes

Para o ensaio do comportamento térmico foi necessário deixar-se estabilizar o fluxo de calor através das paredes. A partir do segundo dia observou-se que a variação de temperatura entre as faces do muro já permanecia constante. Para cada termopar calculou-se a média aritmética das leituras feitas em cada dia. As Figuras 4.25 e 4.26 indicam as curvas obtidas quando se relacionam as temperaturas médias com o tempo, para as paredes isoladamente sem e com EVA em pó, respectivamente. Cada gráfico apresenta o resultado obtido nos termopares simetricamente opostos.

A Figura 4.25 indica as temperaturas nos diversos termopares instalados na parede em que não foi incorporado EVA. Observa-se que o ponto central é o que recebe mais radiação com a temperatura atingindo  $72,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Entre os termopares instalados no centro da parede, a diferença de temperatura foi de  $29,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Comparando-se esses valores com os mostrados na Figura 4.26, observa-se que na face oposta, enquanto a temperatura central na parede sem EVA atinge  $43\text{ }^{\circ}\text{C}$  naquela em que se tem EVA incorporado tem-se  $38,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ou seja uma diferença de  $4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nos demais pontos a temperatura na parede sem EVA foi sempre inferior àquela da parede sem EVA.



66,4	65,0
72,2	
66,3	65,8

37,5	37,0
43,0	
38,0	37,4

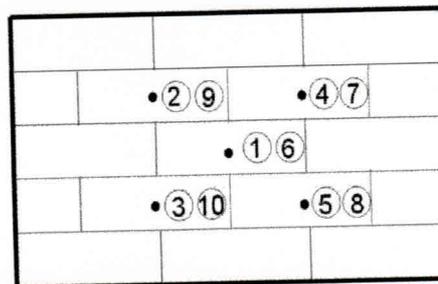
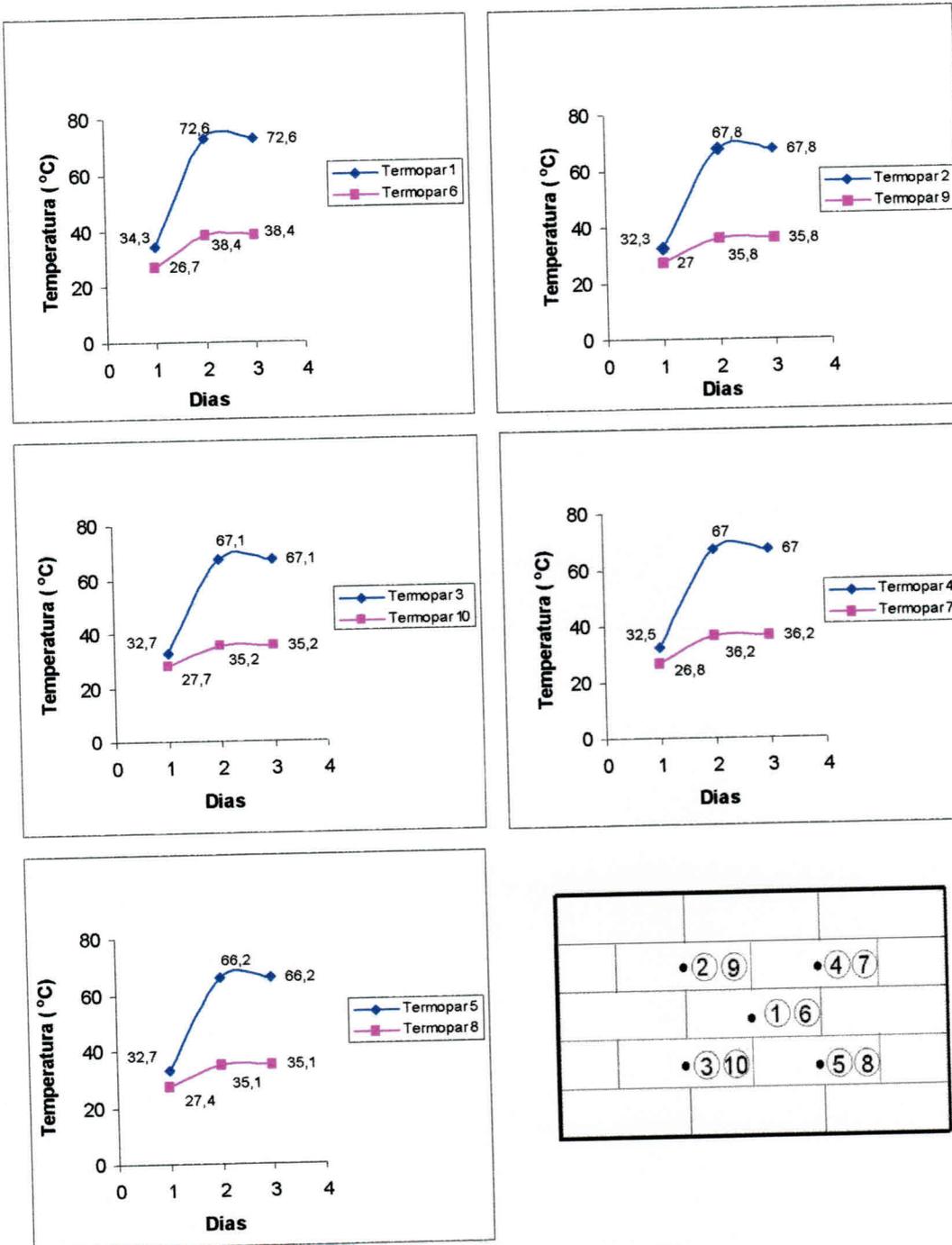
28,9	28,0
	29,2
28,3	28,4

Face exposta

Face oposta

Variação de temperatura

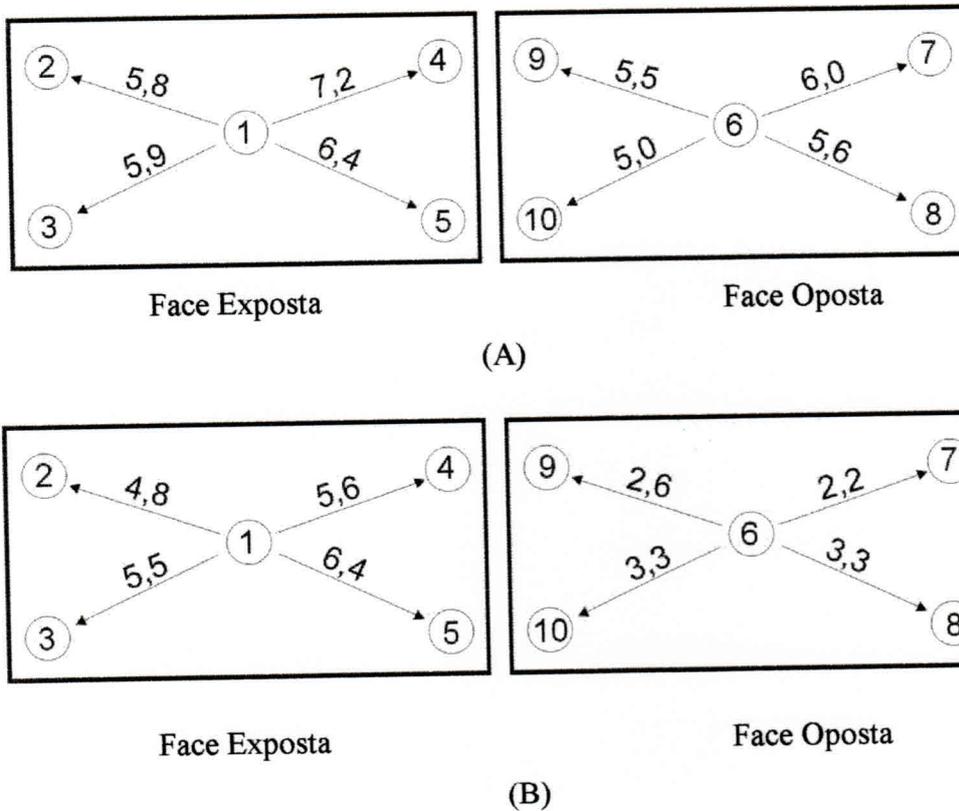
**FIGURA 4.25** - Temperatura medida em função do tempo de exposição à radiação para parede sem EVA: temperatura nas faces e diferença de temperatura entre os pontos opostos na parede



67,8	67,0	35,8	36,2	32,0	30,8
	72,6		38,4		34,2
67,1	66,2	35,1	35,1	31,9	31,1
Face exposta		Face oposta		Variação de temperatura	

**FIGURA 4.26** - Temperatura medida em função do tempo de exposição à radiação para parede com EVA: temperatura nas faces e diferença de temperatura entre os pontos opostos na parede

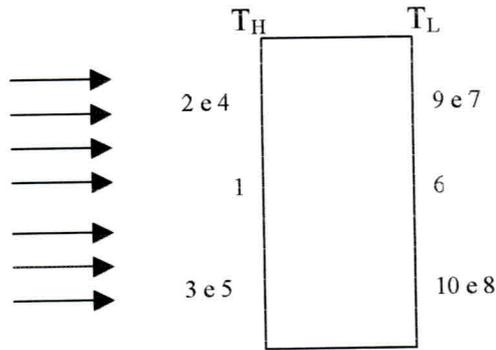
A Figura 4.27 indica a variação de temperatura entre o ponto central e os demais pontos onde foram instalados os termopares, para as paredes sem e com EVA. Nota-se que na face oposta à incidência de radiação, na parede com EVA tem-se sempre uma menor diferença de temperatura.



**FIGURA 4.27** - Variação de temperatura entre o ponto central e os demais pontos  
(A) Parede sem EVA; (B) Parede com EVA

Os ensaios apresentados não permitem a obtenção do valor numérico da condutividade térmica das duas paredes, sem e com EVA.

No entanto, pode-se estabelecer uma relação entre elas. Para tanto, considere-se uma parede submetida a um fluxo de calor constante (Figura 4.28).



**FIGURA 4.28** - Esquema utilizado para verificação do comportamento térmico das paredes

Considerando:

$$\frac{dQ}{dt} = K_1 A_1 \times \frac{(T_{H1} - T_{L1})}{L_1} \quad \text{e} \quad \frac{dQ}{dt} = K_2 A_2 \times \frac{(T_{H2} - T_{L2})}{L_2}$$

Onde:

$T_{H1}$  - Temperatura na face da parede sem EVA;

$T_{L1}$  - Temperatura na outra face da parede sem EVA;

$K_1$  - Condutividade térmica da parede sem EVA;

$A_1$  - Área da seção transversal da parede sem EVA;

$L_1$  - Comprimento da parede sem EVA;

$T_{H2}$  - Temperatura na face da parede com EVA;

$T_{L2}$  - Temperatura na outra face da parede com EVA;

$K_2$  - Condutividade térmica da parede com EVA;

$A_2$  - Área da seção transversal da parede com EVA;

$L_2$  - Comprimento da parede com EVA.

Admitindo-se que as áreas  $A_1$  e  $A_2$  e os comprimentos  $L_1$  e  $L_2$  sejam os mesmos para ambas as paredes, tem-se, na hipótese de fluxo de calor incidente constante:

$$K_1(T_{H1} - T_{L1}) = K_2(T_{H2} - T_{L2})$$

Considerando os termopares 1 e 6 a partir do segundo dia:

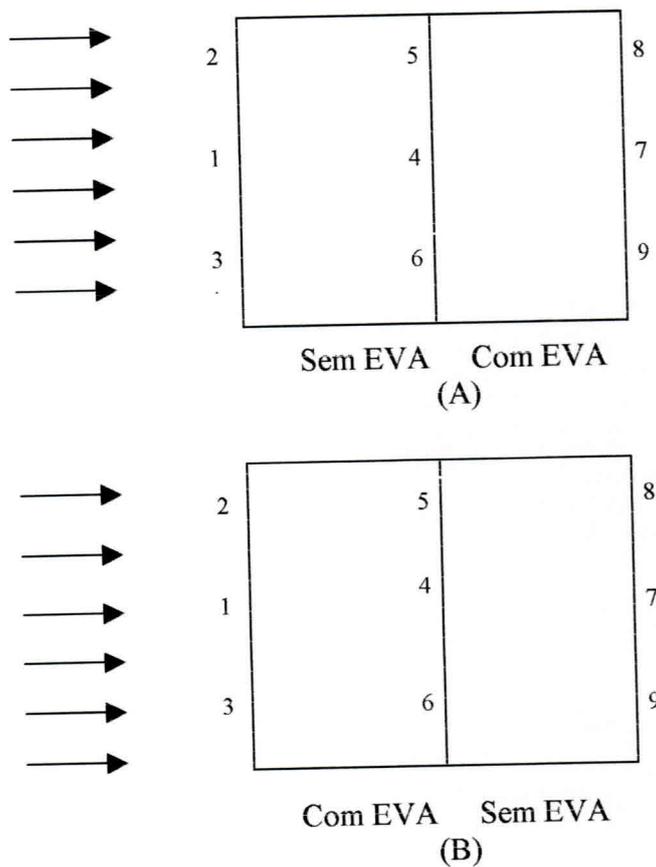
$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{T_{H2} - T_{L2}}{T_{H1} - T_{L1}} \quad (\text{Eq.4.1})$$

Logo:  $K_1 = 1,21K_2$ , ou seja

$$K_2 = 0,82K_1$$

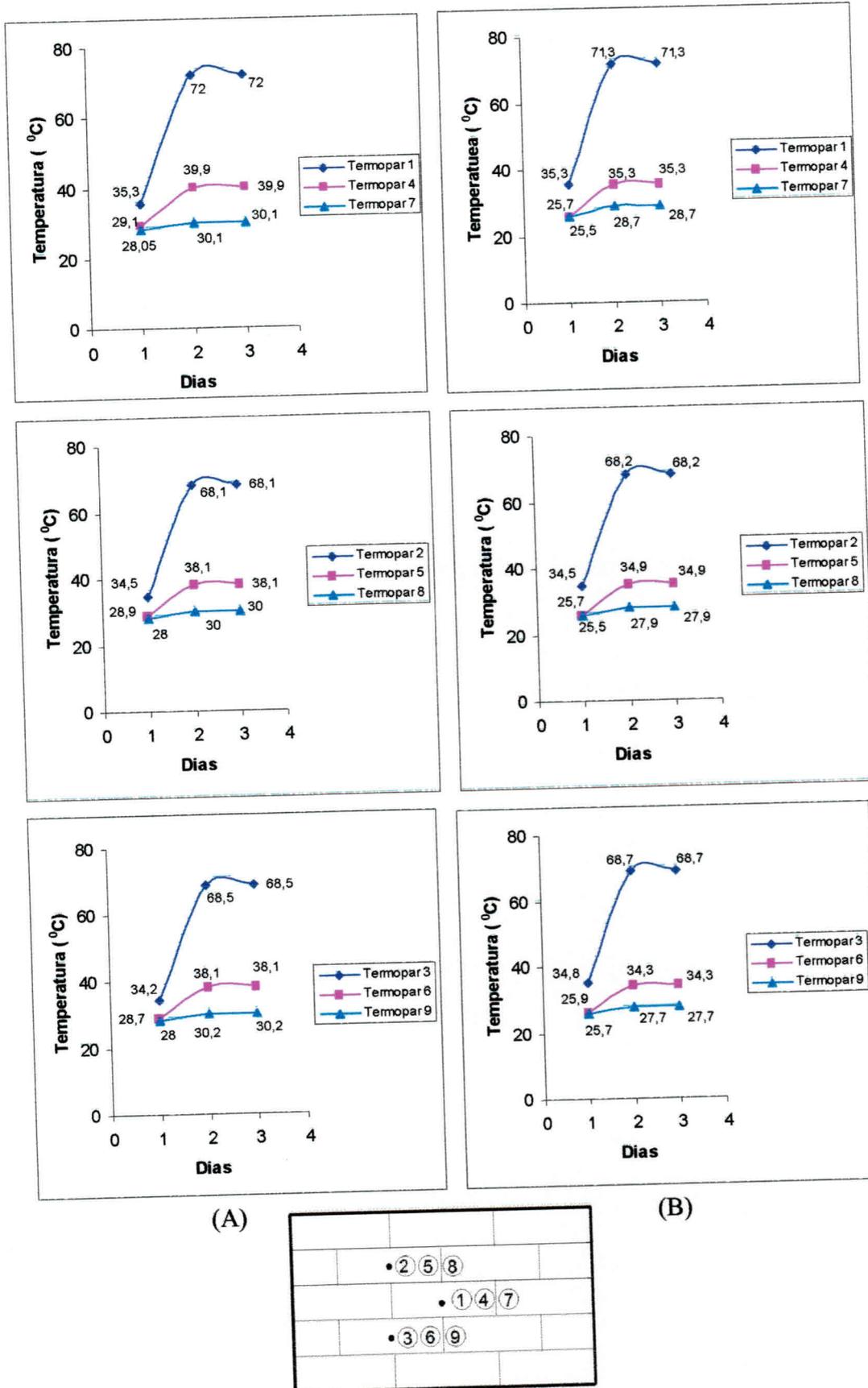
Portanto, a parede com tijolos incorporando EVA apresenta menor condutividade térmica.

Como no ensaio anterior havia dissipação de calor, por não haver uma vedação nas bordas, partiu-se para o ensaio em que as paredes fossem colocadas em série, uma atrás da outra. (Figura 4.29).



**FIGURA 4.29** - Esquema para ensaio das paredes em série  
 (A) Parede sem EVA em série com parede com EVA  
 (B) Parede com EVA em série com parede sem EVA

Na Figura 4.30, observa-se a evolução da temperatura com o tempo nos pontos onde foram instalados os termopares. Pode-se notar a estabilização das temperaturas a partir do segundo dia.



**FIGURA 4.30 - Temperatura para as paredes em série:**  
 (A) Parede sem EVA em série com EVA; (B) Parede com EVA em série sem EVA

Quando a parede com EVA recebeu radiação, entre os termopares 1 e 4 a diferença de temperatura foi de 36 °C. Já quando o muro sem EVA foi colocado na frente, essa diferença passa a ser de 32,1 °C, ou seja, uma diferença de 3,9 °C, indicando um melhor desempenho térmico para parede com EVA incorporado ao tijolo.

Aplicando-se a equação 4.1 ao caso das paredes em série, quando se colocou a parede sem EVA recebendo radiação, obtêm-se uma relação  $K_2 = 0,89K_1$ . Quando ela não recebeu radiação direta obteve-se:  $K_2 = 0,67K_1$ .

O valor numérico de K depende do material. Valor elevado indica que o material é bom condutor de calor. Valores de K pequenos correspondem a materiais pouco condutores ou isolantes. Neste trabalho foi feito apenas um ensaio comparativo e, em todas as situações, observou-se que a condutividade térmica da parede em que se usou os tijolos com EVA foi inferior ao da parede construída com EVA.

## 5 CONCLUSÕES

As seguintes conclusões podem ser tiradas a partir da investigação experimental

A incorporação dos resíduos de EVA na confecção de tijolos prensados estabilizados com cimento favorece:

- o aproveitamento do resíduo;
- a redução da área para descarte (disposição), com benefícios para o meio ambiente.

O beneficiamento dos resíduos de EVA na forma de aparas é um processo simples, consistindo na sua trituração em moinho de facas rotativas. A granulometria pode ser controlada através das peneiras que se acopla ao equipamento.

Os resíduos de EVA na forma em pó chegam a absorver cerca de 300% de água em 24h quando em imersão, enquanto para granulometria que passa na # 2,4mm chega a 240%.

A incorporação dos resíduos de EVA só foi possível até 50% em volume para as duas formas estudadas, em pó e com dimensões máximas 2,4 mm. Teores a cima de 50% são difíceis de serem misturadas.

A adição de 10% de EVA com diâmetro máximo de 2,4 mm e com 10% de cimento, reduziu a resistência à compressão simples de 1,88 MPa para 0,88 MPa. Com 10% de EVA em pó a resistência situou-se em 1,33 MPa.

A resistência à compressão simples do tijolo, diminui à medida que se aumenta o teor de EVA e diminui-se a quantidade de cimento. Entretanto, os tijolos fabricados com 10% de cimento e 0% de EVA e 10% de cimento e 10% de EVA, com resistências de 1,88 e 1,33 MPa respectivamente são adequados para alvenaria de fechamento.

Testes adicionais indicaram que aumentando-se a quantidade de cimento de 10% para 12% na mistura com 0% de EVA e de 10% para 16% na mistura com 10% de EVA em pó, torna-se possível atingir a resistências superiores a 2 MPa.

Com a incorporação do EVA no solo observou-se uma queda na densidade seca obtida na moldagem do tijolo. Com o equipamento utilizado, não foi possível obter tijolos com EVA incorporado com a mesma densidade seca, obtida no ensaio de compactação.

À medida que se aumentou o teor de EVA, na confecção dos tijolos, houve um aumento na absorção de água. Para 10% de EVA que passa na # 2,4 mm, observa-se que a absorção máxima é 17,3% para 6% de cimento.

As paredes com EVA incorporado nos tijolos apresentaram maiores deformações. A capacidade de carga da parede com 10% de EVA foi ligeiramente inferior àquela da parede com 6% de cimento e sem EVA.

As paredes apresentaram na ruptura uma tensão média inferior à ruptura dos tijolos e mesmo aquela dos prismas testados.

Em virtude da pequena largura do tijolo (10 cm) e das resistências obtidas para eles, pode-se recomendar seu emprego em paredes divisórias, ou não estruturais.

Os ensaios térmicos mostraram que a parede com 10% de EVA conduziu a uma melhor proteção contra radiação. No ponto de maior incidência de energia a diferença de temperatura atingiu a 4,6 °C em relação à face oposta.

Em todos os testes ficou evidenciado a menor condutividade térmica da parede com EVA incorporada nos tijolos.

### **Sugestões para futuras pesquisas**

Como sugestões para prosseguimento dos estudos aqui apresentados sugere-se:

- Fazer um estudo de avaliação ambiental do resíduo de EVA, com atenção para o teste de lixiviação.
- Avaliar a resistência ao fogo em painéis de vedação executados com tijolos de EVA.
- Avaliar o isolamento acústico em painéis de vedação executados com tijolos de EVA.
- Estudar uma forma de aumentar a densidade do material sem agredir o meio ambiente, uma vez que a pesquisa do Garlet (1998) comprovou a eficácia quando o resíduo é fervido.
- Determinar a condutividade térmica de painéis de parede com EVA
- Estudar os tijolos com EVA em prensas que possam imprimir à mistura uma maior energia de compactação.
- Estudar a incorporação de resíduos de EVA em tijolos de adobe.
- Estudar outras possibilidades de aproveitamento dos resíduos de EVA como material inerte.



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Amostragem de Resíduos. NBR 10007. Rio de Janeiro, 1987, 14p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Determinação do limite de liquidez. NBR - 6459. Rio de Janeiro, 1984, 6p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Determinação da massa específica real. NBR - 6508. Rio de Janeiro, 1984, 3p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Determinação do limite de plasticidade. NBR - 7180. Rio de Janeiro, 1984, 3p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Determinação da composição granulométrica. NBR - 7217. Rio de Janeiro, 1987, 5p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Determinação da massa unitária. NBR - 7251. Rio de Janeiro, 1982, 3p

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Ensaio de Granulometria por Peneiramento e Sedimentação. NBR - 7181. Rio de Janeiro, 1984, 13p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Ensaio normal de compactação (Proctor normal) , NBR - 7182. Rio de Janeiro, 1984, 2p

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Lixiviação de Resíduos. NBR 10005. Rio de Janeiro, 1987, 7p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Resíduos Sólidos. NBR 10004. Rio de Janeiro, 1987, 48p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Solubilização de Resíduos. NBR 10006. Rio de Janeiro, 1987, 2p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água – NBR – 8492. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Tijolo maciço de solo-cimento – NBR – 8491. Rio de Janeiro, 1984.

AGNESINI, M. V. C.; NOLASCO, A. M. Utilização de compósitos à base de cimento portland e resíduos sólidos da indústria de papel na produção de compósitos leves para construção civil. In: XXIII JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL. São Paulo, 1-5 set.,1997. volume 5, p. 2267-2274.

BARBOSA, N. P. Construções com terra crua do material à estrutura. Monografia para professor titular da área de Estruturas do Departamento de Tecnologia da Construção Civil do Centro de tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa 1996. 113p.

BARBOSA, N. P.; MATTONE, R. Construção com terra. In : I SEMINÁRIO IBERO – AMERICANO DE CONSTRUÇÃO COM TERRA. Salvador, 16 – 18 set.; 2002. p. 79-97.

BARBOSA, N. P. Materiais não convencionais. Campina Grande 2003. 48 diapositivos: color.

BEZERRA, A. J. V. Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA - Etileno Acetato de vinila) como agregado leve na produção de Blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural. 115 p. C.G 2002. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba.

CASTRO, T. M. R.; CEREDA, M. P.; VICENTINI, N. M. Confecção e utilização de embalagens biodegradáveis desenvolvidas a partir da fécula da mandioca. In : I SIMPÓSIO EM ENGENHARIA NA AGRICULTURA. Unesp. Campos de Botucatu – Faculdade de Ciências Agrônômicas. p. 26- 27 out. 1999 - Anais. Vol 2.

CASA NOVA, F. Tijolos de solo-cimento - Uma alternativa que une economia para a solução do problema habitacional. Disponível em < <http://www.unilivre.org.br>>. Acesso em 20 out. 2001. Texto técnico.

CEPED - CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO. Manual de construção com solo – cimento. São Paulo. 1984. 3ª edição, 143p.

DALLACORT, R.; LIMA JÚNIOR, H. C.; WILLRICH, F. L.; BARBOSA, N. P. Resistência à compressão de solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído. In : Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande - PB. Vol 6, n 3 , 2002, p. 511 - 518.

DALLACORT, R.; LIMA JUNIOR, H. C.; WILLRICH, F. L.; Structural behaviour of brick walls of soil-cement with partial replacement of the portland cement by crushed ceramic waste. 13p. 2002.

DETHIER, J. Arquiteturas de Terra – Fundação Gulben Kian – Centro de Arte Moderna - José de Azeredo Perdigão. 1996, 350p.

DETHIER, J. O futuro disponível em < <http://www.arquiraz.hpg.ig.com.br> > acesso 18 out 2001. Texto técnico.

GARLET, G.; GREVEN, H. A. Aproveitamento de resíduos de E.V.A. da indústria de calçadista na construção civil. In: XXVIII JORNADAS SUL AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, São Paulo, 1-5 set., 1997, p. 1871-1897.

GARLET, G.; GREVEN, H. A. Aproveitamento de resíduos de E.V.A. da indústria de calçadista na construção civil. In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO, São Paulo, 25-26 nov., 1996. Anais. São Paulo: EPUSP/ANTAC, p. 87-92.

GARLET, G. Aproveitamento de resíduos de EVA (ethylene vinyl acetate) como agregado para concreto leve na construção civil. Porto Alegre, 1998. 146p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GARZON, B. S. Vivienda rural y adecuacion ambiental: la mampostería de suelo – cemento como una alternativa tecnológica. In : FACULTAD DE ARQUITETURA Y URBANISMO DE LA UNIVERSIDADE NACIONAL DE TUCUMAN – CIUNT. CONICET. 2001. p. 10.

JOHN, V. M. Pesquisa e Desenvolvimento de Mercado para resíduos. In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL, São Paulo, 25-26 nov. 1996. Anais. São Paulo: EPUSP / ANTAC, p. 21-30.

JOHN, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo. 2000. 113p – Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Livre Docente.

JOHN, V. M. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. Disponível em : < <http://www.reciclagem.pcc.usp.br> > . Acesso em 20 nov. 2001. Texto Técnico.

KAZMIERCZAK, C. S. Desenvolvimento de componentes para construção civil à partir de resíduos da indústria calçadista – metodologia. In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL, São Paulo, 25-26 nov. 1996. Anais. São Paulo: EPUSP / ANTAC, p. 83-86.

KULAKOWOSKI, M. P.; VIEIRA, F. P.; DALMOLIN, D.; VILELA, AC. F. Utilização do pó gerado na produção de ligas de ferro-silício e silício metálico em concretos. In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL, São Paulo, 25-26 nov. 1996. Anais. São Paulo: EPUSP / ANTAC, p. 123-130.

LATTERZA, L. A problemática dos resíduos, ABGE em Revista, São Paulo, n. 82, p. 14-15, set- out. 2000.

LAURENT, J – P. Propriétés Thermiques du matériau terre. Publicado em C. S. T. B, Grenoble. 1998. 21p.

MEDEIROS, E. IV Fórum Internacional de Direito Ambiental- Jornal do CREA – fevereiro/março 2002. p.1-2.

NAVARRO, R. F. Materiais e Ambiente. João Pessoa: Editora Universitária / UFPB, 2001. 180p.

NETO, N. C. Terra crua. Disponível em < <http://www.geocities.com> > Acesso em 18 out 2001. Texto técnico.

NEVES, C. M. M.; CARNEIRO, A. P.; COSTA, D.B. Uso de agregado reciclado em tijolos de solo estabilizado com cimento. In : RECICLAGEM DE ENTULHO PARA PRODUÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2000. p.230-259.

PKLA, ABALO, Comportamento de paredes de blocos de terra. Tese (Doutorado) França 2002. 160p. ENTPE/INSA.

RACY, S. comércio. O Estado de São Paulo. São Paulo, 19 de abr. 2003. Disponível em <<http://www.oestadão.com.br>> . Acesso em: 02 mar. 2003.

ROLIM, M. M.; FREIRE, W. J. Solo – vinhaça concentrada : Aplicação na fabricação de tijolos. In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL, São Paulo, 25 – 26 nov.; 1996. Anais. São Paulo : EPUSP / ANTAC, p.117-122.

ROLIM, M. M.; FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. Análise comparativo da resistência à compressão simples de corpos de prova, tijolos e painéis de solo-cimento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande–PB. UFPB. Vol. 3, 1999. p. 93-98.

ROLIM, A. M.; A reciclagem de resíduos de EVA da indústria calçadista. Disponível em <<http://www.portalga.ea.ufrgs.br>>. Acesso em 20 de nov. 2002. Texto técnico.

SILVA, M. A.; SOUSA, F. L.S.; SILVA, V.G. Reciclagem de cinza de casca de eucalipto e entulho de obra em componentes de construção. In : WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL, São Paulo, 25 – 26 nov.; 1996. Anais. São Paulo : EPUSP / ANTAC, p.99-105.

SOUSA, M. S. Tijolos de terra crua reforçado com filtros vegetais. Campina Grande 1993. 113p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba – PB.

WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL, São Paulo, 25-26 nov., 1996. Anais. São Paulo: EPUSP/ANTAC, 184p.