

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COORDENAÇÃO DOS CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
ÁREA DE GEOTECNIA

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

**ALEX JUSSILENO VIANA BEZERRA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-  
Graduação em Engenharia Civil -CCPGEC da  
Universidade Federal da Paraíba, como parte dos  
requisitos necessários para a obtenção do título de  
**MESTRE EM ENGENHARIA.**

Campina Grande - PB

Fevereiro – 2002



B574u Bezerra, Alex Jussileno Viana.  
Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA - Etileno Acetato de Vinila) como agragado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural/ Alex Jussileno Viana Bezerra. - Campina Grande, 2002.  
115 f. : il. color.

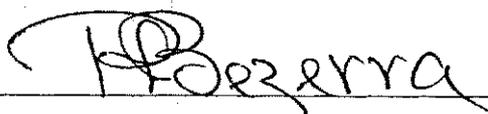
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2002.  
"Orientação: Prof. Dr. Raimundo Leidimar Bezerra, Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo".  
Referências.

1. Resíduo Industrial - Engenharia Civil. 2. Calçados - Indústria. 3. Blocos Vazados de Concreto - Produção. 4. Engenharia Civil - Dissertação. I. Bezerra, Raimundo Leidimar. II. Melo, Aluísio Braz de. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande. CDD 624.1628 J4103 (043)

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.

**ALEX JUSSILENO VIANA BEZERRA**

DISSERTAÇÃO APROVADA EM : 27/02/2002.



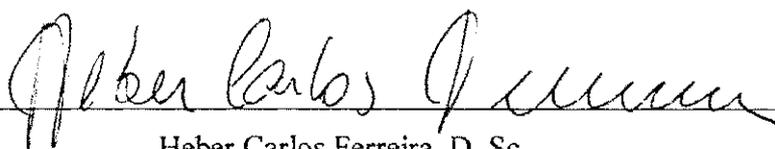
Raimundo Leidimar Bezerra, D. Sc.

Orientador



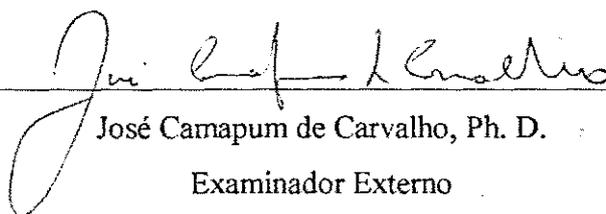
Aluisio Braz de Melo, D. Sc.

Orientador



Heber Carlos Ferreira, D. Sc.

Examinador



José Camapum de Carvalho, Ph. D.

Examinador Externo

Campina Grande - PB

**DEDICATÓRIA:**

À minha esposa, **Marta Viana**  
À minha mãe, **Maria Vianita**  
e irmãos.

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, por estar sempre ao meu lado e por me ter concedido o dom da paciência e da persistência em busca deste objetivo;

Aos professores Raimundo Leidimar Bezerra e Aluísio Braz de Melo, pela orientação, ensinamentos transmitidos e amizade, que foram fundamentais à realização deste trabalho;

Aos professores do mestrado da área de Geotecnia, pelas informações transmitidas. Em especial ao professor Afonso de Macedo, pelos freqüentes incentivos;

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

Ao professor Marcus Vinícius, pelas informações transmitidas sobre o EVA;

Aos professores Heber Carlos Ferreira, Ailton Diniz, Erinaldo Cavalcante e José Wallace, por se mostrarem sempre disponíveis em contribuir com este trabalho;

Aos amigos do curso de pós-graduação, pela amizade construída. Em especial, ao amigo Frankslale, expresse meus sinceros agradecimentos, pela sua relevante ajuda na realização dos experimentos, principalmente durante a moldagem dos blocos;

A todos os funcionários e laboratoristas da área de Geotecnia, pelo zelo e amizade que sempre me trataram;

Ao funcionário Paulo César, pela sua dedicação. Aos alunos de Iniciação Científica Karoline e Cícero Pereira que muito ajudaram na obtenção dos resultados;

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

Ao CEFET-Ceará por me ter liberado para fazer este estudo, aqui representado pelo Diretor Geral, Sr. Mauro de Oliveira e ao CEFET-Cariri pelo apoio, ao qual agradeço ao então diretor, o amigo Prof. José Carlos;

Aos amigos professores e alunos do CEFET-Cariri, especialmente Homero Jorge, José Araújo, Soênia Marques e José Beldson, que foram os principais incentivadores para que eu ingressasse no mestrado;

À Doutinha “in memoriam” que continua a me proteger com suas bênçãos;

Enfim, aos meus familiares, que mesmo à distância, sempre transmitiram sentimentos de união fraterna. À minha mãe Vianita, pelas suas orações. A todos meus irmãos, especialmente Jussélio e Jussiano, que puderam vir aqui. À minha amada esposa, Marta Viana, pela sua presença decisiva na realização deste trabalho.

# ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi

## CAPÍTULO – 1

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Justificativa.....	2
1.3 Objetivos.....	4
1.4 Estrutura do Trabalho.....	4

## CAPÍTULO – 2

<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	6
2.1 Desenvolvimento e Meio Ambiente.....	6
2.2 Legislação dos Resíduos Industriais.....	7
2.3 O Processo de Reciclagem.....	9
2.3.1 Generalidades.....	9
2.3.2 Aspectos vantajosos da reciclagem.....	11
2.3.3 Aspectos contrários à reciclagem.....	12
2.3.4 Metodologia para estudos de reciclagem.....	14
2.3.5 Desenvolvimento do produto reciclado.....	15
2.3.5.1 Generalidades.....	15
2.3.5.2 Viabilidade técnica do produto reciclado.....	16
2.3.5.3 Viabilidade ambiental do produto reciclado.....	17
2.3.5.4 Viabilidade econômica do produto reciclado.....	18
2.3.5.5 Vantagens do produto reciclado.....	19
2.3.5.6 Dificuldades com produto reciclado.....	20

2.4	A Reciclagem na Construção Civil.....	20
2.4.1	Generalidades.....	20
2.4.2	Metodologia para estudos de reciclagem na construção civil.....	22
2.4.3	Aplicações do entulho da construção civil.....	23
2.4.3.1	Generalidades.....	23
2.4.3.2	Aplicação de entulhos da construção civil em blocos de vedação.....	24
2.4.4	Uso de resíduos de outras indústrias na construção civil.....	26
2.4.4.1	Generalidades.....	26
2.4.4.2	Resíduos da indústria de calçados.....	27
2.5	O Concreto Leve.....	31
2.5.1	Generalidades.....	31
2.5.2	Vantagens no uso de concreto leve.....	32
2.5.3	Limitações no uso de concretos leves.....	33
2.5.4	Classificação dos concretos leves.....	34
2.5.5	Tipos de concretos leves.....	34
2.5.5.1	Generalidades.....	34
2.5.6	Concreto com agregados leves.....	35
2.5.6.1	Tipos de agregados leves.....	35
2.5.6.2	Características do concreto com agregados leves no estado plástico.....	37
2.5.6.3	Características do concreto com agregados leves no estado endurecido.....	38
2.5.7	Concreto sem finos.....	41
2.5.8	Concreto celular.....	41
2.6	O EVA (ethylene vinyl acetate) e seus Compostos.....	42
2.6.1	Generalidades.....	42
2.6.2	Propriedades principais.....	43
2.6.3	O EVA na indústria calçadista.....	44
2.6.3.1	As matérias-primas utilizadas em uma composição de EVA.....	44
2.6.3.2	O processamento de fabricação das placas expandidas de EVA.....	46
2.6.3.3	O resíduo de EVA.....	46

**CAPÍTULO – 3**

<b>3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>51</b>
3.1 Caracterização dos Materiais.....	53
3.1.1 Agregado miúdo (agregado natural).....	53
3.1.1.1 Ensaios realizados.....	53
3.1.2 Agregado graúdo (agregado natural).....	53
3.1.2.1 Ensaios realizados.....	53
3.1.3 Agregado de EVA (agregado artificial).....	54
3.1.3.1 Ensaios realizados.....	56
3.1.4 Cimento.....	58
3.1.5 Água de amassamento.....	58
3.2 Preparação dos Compósitos.....	59
3.2.1 Composição do traço adotado.....	59
3.2.2 Pré-molhagem do agregado de EVA.....	59
3.2.3 Mistura.....	61
3.2.4 Moldagem de corpos-de-prova cilíndricos.....	62
3.2.5 Moldagem dos blocos.....	62
3.2.6 Cura dos corpos-de-prova e dos blocos.....	63
3.3 Caracterização do Concreto Leve.....	64
3.3.1 Estado fresco.....	64
3.3.1.1 Determinação da massa unitária.....	64
3.3.1.2 Trabalhabilidade e consistência.....	65
3.3.2 Estado endurecido.....	65
3.3.2.1 Determinação da resistência à compressão.....	65
3.3.2.2 Determinação da absorção de água.....	67
3.4 Delineamento Experimental e Análise Estatística.....	68
3.4.1 Análise 1 (compósitos com agregado EVA 1 e agregado EVA 2)....	68
3.4.2 Análise 2 (compósitos com agregado EVA 3 e agregado EVA 4)....	68
3.4.3 Análise 3 (compósitos com agregado EVA 1 e agregado EVA 3)....	69
3.4.4 Análise 4 (compósito com agregado EVA 1, comparação nos casos sem e com brita “0”).....	69

**CAPÍTULO – 4**

<b>4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>71</b>
4.1 Caracterização dos Materiais.....	71
4.1.1 Agregado miúdo (agregado natural).....	71

4.1.2	Agregado graúdo (agregado natural).....	72
4.1.3	Agregados de EVA (agregado artificial).....	74
4.1.4	Cimento.....	76
4.2	Caracterização do Concreto Leve.....	77
4.2.1	Determinação da relação água/aglomerante nos compósitos.....	77
4.2.2	Resultados.....	81
4.2.3	Massa unitária do compósito.....	85
4.2.4	Trabalhabilidade e consistência.....	88
4.2.5	Resistência à compressão simples.....	89
4.2.5.1	Análise 1 (compósitos com agregado EVA 1 e com agregado EVA 2).....	89
4.2.5.2	Análise 2 (compósitos com agregado EVA 3 e com agregado EVA 4).....	92
4.2.5.3	Análise 3 (compósitos com agregado EVA 1 e com agregado EVA 3).....	94
4.2.5.4	Análise 4 (compósitos com agregado EVA 1, comparação sem e com brita "0").....	95
4.2.6	Absorção de água por imersão.....	96
4.3	Traços Sugeridos para a Moldagem de Blocos.....	99
4.4	Outras Possíveis Aplicações do Concreto de EVA.....	102
<b>CAPÍTULO – 5</b>		
5.	<b>CONCLUSÕES</b> .....	104
<b>CAPÍTULO – 6</b>		
6.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	109
ANEXO A – Média e erro padrão dos resultados obtidos no experimento		
ANEXO B – Tabelas da análise estatística (Teste F e Teste de Tukey)		
ANEXO C – Tabelas das composições granulométricas dos agregados de EVA (agregado artificial)		

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	- Detalhe de uma etapa do processo de reciclagem na indústria de calçado.....	47
Figura 2.2	- Resíduos da indústria de calçados, ensacados e estocados em galpão.....	48
Figura 3.1	- Quadro esquemático da metodologia adotada.....	52
Figura 3.2	- Detalhe dos retalhos das placas e refugos de placas e solas.....	54
Figura 3.3	- Detalhe das malhas das peneiras e dos grãos do agregado de EVA.....	54
Figura 3.4	- Moinho granulador.....	55
Figura 3.5	- Detalhe do recipiente usado na pré-molhagem do agregado de EVA, utilizando-se uma peneira para impedir a ascensão do agregado.....	60
Figura 3.6	- Detalhe do processo de moldagem dos corpos-de-prova.....	62
Figura 3.7	- Detalhe do processo de moldagem dos blocos.....	63
Figura 3.8	- Tanques de cura.....	64
Figura 3.9	- Detalhe do capeamento dos corpos-de-prova e dos blocos.....	66
Figura 3.10	- Detalhe do bloco sendo rompido.....	67
Figura 4.1	- Curva Granulométrica da areia e enquadramento na respectiva zona de classificação estabelecida pela NBR 7211.....	72
Figura 4.2	- Curva Granulométrica do agregado graúdo natural (brita "0")..	73
Figura 4.3	- Ilustração do fenômeno de variação volumétrica do agregado com tratamento térmico.....	75
Figura 4.4	- Curva de absorção de água dos agregados de EVA utilizados...	76
Figura 4.5	- Curva Granulométrica dos agregados de EVA.....	76
Figura 4.6	- Relação água/cimento versus resistência à compressão aos 7 dias para o agregado EVA 1 no traço 1:1,2:1,8 (cim.: areia: EVA, em volume).....	78

Figura 4.7	- Relação água/cimento versus resistência à compressão aos 7 dias para o agregado EVA 2 no traço 1:0,9:2,1 (cim.: areia: EVA, em volume).....	79
Figura 4.8	- Massa unitária dos compósitos em função do teor de EVA.....	86
Figura 4.9	- Massa unitária dos compósitos em função do tipo de EVA usado.....	86
Figura 4.10	- Relação entre massa unitária para cada compósito pesquisado e suas resistências à compressão.....	87
Figura 4.11	- Comparação entre os resultados da resistência do concreto com agregado EVA 1 e da argamassa com agregado EVA 2....	90
Figura 4.12	- Resistência à compressão do compósito em função do teor de agregado leve para o compósito usando agregado de EVA 1....	91
Figura 4.13	- Resistência à compressão do compósito em função do teor de agregado leve para o compósito usando agregado de EVA 2....	92
Figura 4.14	- Comparação entre os resultados da resistência do concreto de agregado EVA 3 e do concreto de agregado EVA 4.....	93
Figura 4.15	- Resistência à compressão do compósito em função do teor de agregado leve para o compósito usando agregado de EVA 3....	93
Figura 4.16	- Resistência à compressão do compósito em função do teor de agregado leve para o compósito usando agregado de EVA 4....	94
Figura 4.17	- Comparação entre os resultados da resistência do concreto de agregado EVA 1 e do concreto de agregado EVA 3.....	95
Figura 4.18	- Relação entre a absorção de água em todos os compósitos pesquisados e a percentagem de agregado de EVA.....	97
Figura 4.19	- Relação entre a absorção de água para cada compósito pesquisado e suas resistências à compressão.....	98
Figura 4.20	- Blocos de vedação com concreto de EVA.....	101

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	- Classificação dos materiais em grupos de reciclagem (Navarro, 2001).....	10
Tabela 2.2	- Taxa de recuperação de resíduos sólidos urbanos (Navarro, 2001).....	11
Tabela 2.3	- Requisitos do usuário, com base na ISO 6241, com exceção dos apresentados em itálico, que são ampliação proposta por John et al. (1996) apud John (2000) .....	16
Tabela 2.4	- Estudo de dosagem para determinação do traço e resistência à compressão média dos blocos produzidos com resíduos de construção e de demolição (De Pauw, 1982 apud Ângulo, 2000).....	25
Tabela 2.5	- Comparação entre resultados de resistência à compressão (fc28) para várias dosagens com resíduos da indústria de calçados EVA (MAISON, 2001).....	28
Tabela 2.6	- Alguns resultados obtidos no estudo de dosagem com agregados de EVA, com corpos-de-prova cilíndricos e blocos de vedação (Garlet, 1998).....	29
Tabela 3.1	- Ensaios de caracterização da areia e suas respectivas normas...	53
Tabela 3.2	- Ensaios de caracterização da brita e suas respectivas normas.....	53
Tabela 3.3	- Malhas das peneiras utilizadas no moinho com as respectivas dimensões máximas dos agregados obtidos e produção.....	55
Tabela 3.4	- Amostras de agregados de EVA utilizadas na pesquisa.....	55
Tabela 3.5	- Ensaios de caracterização do agregado de EVA (agregado artificial) e as respectivas normas obedecidas.....	56
Tabela 3.6	- Faixa granulométrica das amostras de agregado de EVA para ensaio de absorção de água.....	57
Tabela 3.7	- Características físicas do cimento.....	58
Tabela 3.8	- Composição química do cimento.....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a/agl	Relação água/aglomerante
$A_b$	Absorção de água
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/c	Relação água/cimento
BR	Borracha de polibutadieno
CTCCA	Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins
$D_{máx}$	Dimensão máxima característica do agregado
EMURB	Empresa Municipal de Urbanização de São Paulo
EVA	Etileno acetato de vinila
EPDM	Copolímero de etileno-propileno dieno
$f_{c28}$	Resistência à compressão simples aos 28 dias
$f_{c7}$	Resistência à compressão simples aos 7 dias
ISO	International Standard Organization
NBR	Norma Brasileira
nbr	Copolímero de acrilonitrila-butadieno
ONU	Organização das Nações Unidas
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PVC	Policloreto de vinila
r (estatística)	Coefficiente de correlação
SBR	Copolímero de estireno-butadieno
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
T.T.	Tratamento térmico

**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.**

## RESUMO

O desenvolvimento do setor industrial, normalmente, tem como consequência alguma agressão ao meio ambiente, devido à geração de resíduos. Ultimamente, a geração de resíduos no setor calçadista (aparas de solados) tem aumentado bastante e tem sido proporcional ao crescimento econômico do setor. O tratamento mais comum dado às aparas tem sido encaminhar para aterros clandestinos. Por outro lado, o setor da construção civil destaca-se pelo grande potencial para absorver vários tipos de resíduos industriais, podendo contribuir para a preservação do meio ambiente. O presente trabalho visa apresentar as condições técnicas de se utilizar o resíduo da indústria de calçados (EVA - etileno acetato de vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de vedação com base em compostos cimentícios. O objetivo é lançar uma alternativa ecologicamente correta e tecnicamente viável para o destino final desses resíduos, produzidos na própria região. Para isto realizou-se um estudo exploratório de traços, incorporando agregado leve à mistura, numa faixa entre 40% a 100% em relação ao volume total de agregados, com o propósito de encontrar o teor ideal que permita aproveitar uma maior quantidade de resíduos e produzir blocos que tenham resistências mínimas compatíveis com a utilização sem função estrutural. Adotou-se como beneficiamento do resíduo a trituração em moinho de facas para produzir algumas granulometrias, tratamento térmico (100°C) e molhagem das partículas leves em água antes da moldagem. Por fim, realizaram-se ensaios de resistência à compressão simples e absorção de água com os próprios blocos de vedação e observou-se que, de uma forma geral, com o traço 1:3 (cimento Portland: agregados, em volume) é possível ter boas condições para fabricação desses blocos sem deixá-los muito frágeis para serem manuseados (resistência à compressão maior do que 1MPa). O teor ideal de incorporação do resíduo de EVA como agregado leve é 60%, quando não se faz o seu tratamento térmico, e 70%, quando se faz tal tratamento, atingindo resistência à compressão de 2,53 MPa.

**The use of industry footwear waste (EVA – ethylene vinyl acetate) as light aggregate in the production of concrete blocks for non structural masonry.**

**ABSTRACT**

The development in the industry, normally, has an effect in the environment due to the production of waste. Latterly, the amount of waste produced by the footwear industry has increase enormously and it has a close relationship with the economical growth. The destination given to the waste from the footwear industry is the so called clandestine sanitary fills. On the other hand, in the civil construction works has a great potential to make use of the waste from industries, which will give a contribution the better environment condition. This investigation aims to present the technical conditions for the use of footwear waste (EVA – ethylene vinyl acetate) as light aggregate in the production of concrete blocks for the use for non-structural means and based in the cementiceous properties. The objective is to offer a right ecological alternative for the final destination of that waste mentioned above. To reach this purpose, a preliminary study was done by the introduction of waste as light aggregate in mixtures ranging from 40% to 100% in relation to the total volume of aggregate aiming to find an ideal amount of waste to be used. The waste was grounded in a knife mill in order to produce several grain sizes, thermal treatment and wetting in water of the particles. Finally, a unconfined compressive tests were done as well as the absorption of water by the blocks was measured. It was observed that, in a general way, with a mixture of 1:3 (Portland cement: aggregates, in volume) is possible to obtain good condition for making the blocks without leaving them very weak to be work with. The ideal amount of incorporated waste from the footwear industry is 60% when they're no thermal treatment and 70% when there is a treatment reaching unconfined compressive strength of 2,53 MPa.

## CAPÍTULO - 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 Generalidades

Com o crescimento populacional e o aumento do número de indústrias, cresce também a geração de resíduos. Estes resíduos devem ser tratados de forma correta, o que muitas vezes não é feito, trazendo conseqüências nocivas ao meio ambiente.

Essa problemática tem feito com que os regimentos legais aumentem as exigências técnicas quanto à geração, tratamento, transporte e armazenamento do lixo industrial (Rocca et al., 1992). Por ser, perante a lei, o gerador do resíduo o responsável por ele, existe um custo operacional na gestão dos resíduos para as indústrias. Entretanto, muitas empresas fogem desta obrigação e depositam seus resíduos indiscriminadamente, e muitas vezes clandestinamente, contribuindo para a degradação ambiental. Além do mais, com o passar dos anos, percebe-se que falta espaço para se construir aterros sanitários e isto traz dificuldades para se armazenar um volume crescente de lixo, como têm acontecido nos grandes centros urbanos. A tendência natural é o agravamento dessa situação, o que chama a atenção para o problema: o que fazer e onde colocar tanto lixo?

Dentre as várias formas de processamento e disposição final do lixo, a reciclagem dos resíduos recuperáveis tem sido defendida por entidades ambientalistas e vem obtendo cada vez mais aceitação em todo mundo. O reuso ou recuperação destes resíduos além de ajudar nas questões sanitárias e na preservação das reservas naturais de matérias-primas, elimina custos com armazenamento, proporcionando uma economia para as empresas e para o Estado.

A construção civil tem grande potencial para absorver materiais reciclados das indústrias. Isto se justifica pela necessidade de reduzir os custos das obras, pela abundante variedade de matéria-prima e pelo grande número de materiais diferenciáveis aplicados na construção (Cincotto, 1988). Então, o que antes era

problema, pode se tornar solução: o resíduo de um setor servindo como matéria-prima apta a ser aplicada em outros setores.

A indústria calçadista ao mesmo tempo em que impulsionada pela competição do mercado e na busca de maiores produtividades utiliza modernos processos e faz uso de novos materiais para fabricação de seus produtos, em grande escala de produção, tem gerado muito resíduo. Na verdade, durante o processo para a obtenção dos formatos dos calçados obtém-se sobras e retalhos inevitáveis. Portanto, o seu processo de fabricação a torna como uma das atividades industriais que gera grande quantidade de resíduos. A maior parte destas sobras não serve para ser reutilizadas na própria indústria e sua geração cresce proporcionalmente ao crescimento econômico do setor calçadista.

Já é tempo de despertar a consciência dos geradores dos resíduos para as vantagens do investimento em programas de reciclagem que poderão ser uma nova fonte de receita. O desconhecimento sobre as possibilidades de reaproveitamento dos seus próprios resíduos é um problema tão grave quanto o da falta de espaço para depositá-los adequadamente. Neste sentido, as parcerias empresa-universidade devem ser fomentadas com o propósito de se estudar opções de reciclagem dos resíduos, buscando soluções que assegurem destinos finais sem risco aos futuros usuários dos produtos com resíduos incorporados.

Baseado neste preceito, este projeto de pesquisa procura mostrar a viabilidade da reciclagem do resíduo de borracha sintética (EVA – etileno acetato de vinila), proveniente da fabricação de sandálias. Pretende-se tirar proveito de algumas propriedades desse resíduo para a obtenção de materiais com características técnicas e econômicas viáveis, visando o seu aproveitamento no subsetor de materiais e componentes da construção civil.

## **1.2 Justificativa**

O estado da Paraíba possui várias empresas que trabalham na produção de calçados e na fabricação de mantas de borrachas que são utilizadas para se obter as palmilhas e solas dos calçados. Utilizam-se copolímeros, com predominância do

EVA ou do SBR (látex estireno-butadieno), além de outros polímeros que entram em menores proporções para se obter o composto.

Através de uma pesquisa informal, sabe-se que a produção média de resíduo EVA em uma grande indústria de sandálias instalada no estado da Paraíba é 200t/mês. Considerando a sua baixa massa unitária, em torno de  $180\text{kg/m}^3$ , tem-se um grande volume gerado desta sobra de borracha sintética, tornando-se cada vez mais difícil encontrar local para se armazenar tal resíduo. Além do mais, dar um destino final de forma que não venha causar danos ao meio ambiente torna-se um desafio, uma vez que a maioria dos depósitos existentes no Brasil é, na verdade, lixão a céu aberto, que não possui área adequada e disponível para se dar um tratamento correto para cada tipo de resíduo distintamente. O resíduo de EVA torna-se agravante por ser um produto não biodegradável.

Encontrar soluções para a deposição final deste resíduo torna-se cada vez mais necessário, principalmente pelo crescente número de indústrias de calçados. Existem algumas pesquisas que buscam o aproveitamento destes resíduos como matéria-prima para novos produtos, porém é um volume ainda muito pequeno. Na construção civil brasileira, tem o exemplo do estudo de Garlet (1998), que propõe sua aplicação como agregado na produção dos chamados pisos flutuantes para trabalhar como isolante térmico e acústico.

A presente pesquisa busca o aproveitamento deste resíduo também como agregado leve, porém para ser utilizado na produção de blocos de vedação sem função estrutural. Tendo em vista o grande volume de resíduo gerado, a produção de blocos em larga escala torna-se uma boa opção para se aproveitar volumes cada vez maiores desse resíduo. Além do mais, existe a necessidade premente que o país atravessa para a construção de novas moradias, podendo esses blocos tornar-se viáveis em construções populares. Poderão ainda, ser uma boa solução para compor painéis de parede em pequenos edifícios, aliviando o peso de cargas na estrutura (possuem menor massa unitária que os blocos convencionais de concreto ou de cerâmica).

Portanto, este trabalho poderá ser útil como indicativo para uma possível aplicação prática de seus resultados.

### 1.3 Objetivos

A presente pesquisa tem como objetivo um estudo exploratório de traços para produção de bloco vazado de vedação, com a utilização de resíduos de EVA, como agregado leve, proveniente da indústria calçadista. Assim, serão testados diversos teores de EVA e avaliadas quais as proporções ideais que misturadas aos outros agregados apresentam um bloco de vedação em condições de uso.

O estudo consiste em analisar o comportamento da mistura no estado fresco, quanto às condições de aplicabilidade na moldagem dos blocos, bem como no estado endurecido, quanto às propriedades mecânicas, através de ensaios de resistência à compressão simples e absorção. Para isto, os ensaios foram realizados em corpos-de-prova cilíndricos e blocos moldados nos diversos traços.

Pretende-se despertar na comunidade industrial a importância de se fazer a reciclagem deste tipo de resíduo, tirando proveito técnico de algumas de suas propriedades e apresentando uma alternativa na qual se possa aproveitar boa parte deste material e, assim, contribuir com uma solução que venha amenizar o problema ambiental que este resíduo está causando, devido ao grande volume gerado e a sua difícil deterioração.

### 1.4 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação de mestrado está dividida em 6 capítulos, sendo este o Capítulo 1 que introduz o tema abordado e apresenta os diversos assuntos tratados nesta pesquisa.

O Capítulo 2 apresenta uma breve revisão da literatura, onde é abordado o papel da construção civil no processo de reciclagem. São mostradas experiências em que a construção civil faz uso de seus próprios resíduos (entulho) e de resíduos de outras indústrias. Apresenta-se ainda um estudo sobre concreto leve, mostrando suas vantagens e desvantagens, os tipos existentes e, principalmente, as características do concreto com agregado leve. Neste capítulo também são mostrados o produto EVA, sua aplicação na indústria de calçados e o processo de fabricação das placas

expandidas usadas na obtenção dos calçados e as etapas em que surgem os tipos de resíduos.

No Capítulo 3 descreve-se como se obteve os agregados de EVA, quais os ensaios de caracterização realizados nos materiais e nos compósitos, e como se processou a moldagem dos blocos. Portanto, apresenta-se aqui a metodologia experimental da pesquisa desenvolvida neste trabalho.

No Capítulo 4 tem-se a apresentação e a análise dos resultados obtidos na pesquisa. Também são discutidas neste capítulo algumas possibilidades de aplicações deste material.

O Capítulo 5 trata das conclusões deste trabalho e faz sugestões para posteriores estudos, enquanto o Capítulo 6 apresenta as referências bibliográficas utilizadas nesta pesquisa.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 Desenvolvimento e Meio Ambiente

A constituição do mundo moderno fez com que a produção de mercadorias e o número de indústrias crescessem de forma sistemática. Como consequência, tem-se uma maior necessidade de se consumir matérias-primas industriais (minerais, derivados de petróleo, madeira, produtos agrícolas, etc), fontes de energia (combustíveis fósseis, hidrelétrica, nuclear, etc) e de se ampliar as condições de infra-estruturas de produção e circulação (estradas, portos, redes de água e esgotos, etc). Assim, o homem tem interferido cada vez mais no meio ambiente (Giansanti, 1998).

Esse desenvolvimento tecnológico oriundo da sociedade moderna traz consigo consequências que se refletem no meio ambiente, prejudicando-o direta ou indiretamente (Liddle, 1994 apud John, 2000). Em geral, as indústrias ao se desenvolverem, por um lado, aumentam a oferta de bens e serviços ao homem, mas por outro, além de consumirem grandes quantidades de matérias primas e energias, ainda produzem resíduos e emissões poluentes que agridem de alguma forma o meio ambiente (Politi; Vilhena, 2000).

É bem verdade que nem todas as tecnologias são maléficas à natureza. Porém, algumas das transformações que a ação do homem vem provocando na natureza têm gerado situações de catástrofes ao planeta que estão preocupando a população mundial como um todo. Como exemplo pode-se citar: o aquecimento global, a destruição da camada de ozônio, poluição dos mananciais e dos solos, etc.

Há muito já se sabe que os recursos naturais são finitos e que não se pode mais pensar em uma natureza capaz de absorver ilimitadas quantidades de resíduos, ou que seja capaz de recuperar-se de todos os “maus tratos” do homem. Portanto, esta situação está fazendo com que a sociedade busque soluções de convivência harmoniosa com a natureza e o tema sobre ecologia está cada vez mais presente no

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).

## **2.3 O Processo de Reciclagem**

### **2.3.1 Generalidades**

Pode-se dizer, de uma forma simplista, que a reciclagem é a conversão do lixo em algo que tenha condições de uso e seja comercial. Em um processo de reciclagem ocorrem geralmente as seguintes etapas: coleta e separação; revalorização e transformação.

A coleta é uma etapa importantíssima no sucesso do processo como um todo, sendo que esta pode ser realizada de forma seletiva ou não. A forma seletiva facilita o trabalho do coletor e diminui significativamente a ocorrência de contaminação (presença de materiais diferentes num lote de um determinado resíduo), ajudando assim a etapa de separação e seleção. Porém, este tipo de coleta necessita de um bom nível de conscientização da população, sendo imprescindível sua participação, fazendo a separação dos materiais em seus domicílios, além da necessidade de coletores devidamente identificados e colocados em locais estratégicos que facilitem a participação de todos. Quando não se tem uma coleta seletiva, há uma maior dificuldade para as etapas de seleção e processamento.

O processo de separação irá depender do tipo de material que se pretende selecionar. Pode ser através de processos mecânicos, químicos ou magnéticos que irão separar cada material para serem enviados até os depósitos específicos. Quando o material é coletado sem passar por nenhum tipo de seleção, há ainda a necessidade de se retirar os materiais não-recicláveis (Navarro, 2001).

A transformação é a última etapa antes de se ter o novo produto no comércio e, conforme o tipo de material, têm-se formas diferentes de processamentos.

Coletar e separar os resíduos industriais na origem é algo bem mais simples e de menor custo que a coleta dos resíduos domiciliares, por se tratar de resíduos

específicos e que se encontram em grande número numa mesma região (de forma localizada). Este fato pode ser algo motivador para as empresas de reciclagem. Além disso, segundo Navarro (2001), os resíduos da indústria e do comércio ocupam atualmente cerca de 50% dos aterros, mas mesmo assim, tem ocorrido mais reciclagem de resíduos sólidos produzidos em residências.

As indústrias são, portanto, geradoras de resíduos em potencial e, muitos deles, tornam-se os maiores responsáveis pela degradação ambiental e pela elevação das despesas para as próprias indústrias geradoras e para o Estado, devido aos custos de armazenamento.

É bem verdade que nem todo lixo produzido, especialmente o doméstico, tem condições de ser reciclado ou reutilizado. Pesquisadores da UnB (Universidade de Brasília) enumeraram em grupos, os principais tipos de materiais, quanto ao grau de reciclabilidade, conforme Tabela 2.1 (Navarro, 2001).

TABELA 2.1 - Classificação dos materiais em grupos de reciclagem (Navarro,2001).

GRUPO	MATERIAIS
1	Papéis
2	Plástico
3	Metais
4	Vidros
5	Produtos químicos, materiais infectados, pilhas, baterias, tintas, inseticidas, mercúrio, lâmpadas, etc
6	Lixo orgânico

Cada vez mais a reciclagem vem se transformando em um negócio com tendência ao crescimento e à consolidação, principalmente nos países do Primeiro Mundo (Tabela 2.2). Nos Estados Unidos, por exemplo, de 1990 a 1997, a indústria da reciclagem manteve um crescimento acima de 10% ao ano. Neste período a produção de resíduos sólidos teve um aumento de 27%, enquanto o percentual de reciclagem destes resíduos cresceu 67% (Navarro, 2001). O que se deseja é que esta política seja também aplicada nos países chamados de Terceiro Mundo. Dados da Universidade Federal do Ceará - UFC (Navarro, 2001) mostram que 76% das 250

mil toneladas de lixo produzidas por dia nas cidades brasileiras tem como destino final os lixões (áreas a céu aberto).

TABELA 2.2 – Taxa de recuperação de resíduos sólidos urbanos ((a) [www.nrdc.org](http://www.nrdc.org); (b) [www.planet.ark.com.au](http://www.planet.ark.com.au), apud Navarro, 2001).

MATERIAL	TAXA DE RECICLAGEM (%)	
	EUA (a)	AUSTRÁLIA (b)
Papel e Papelão	35,3	37
Vidro	23,4	40
Metais Ferrosos	32,3	27*
Alumínio	37,6	65*
Outros metais não-ferrosos	66,1	ND
Plásticos	4,7	35
Borracha e Couro	7,1	ND
Têxteis	11,7	ND
Madeira	9,8	ND
Outros materiais	20,9	ND
Resíduos alimentares	3,4	ND
Entulhos de jardins e quintais	22,9	ND
Total de entulho municipal	23,6	ND

\* Dados referentes a latas, ND = não disponível.

### 2.3.2 Aspectos vantajosos da reciclagem

Vários pesquisadores mostram pontos positivos da reciclagem.

No que se refere à questão ambiental, John (2000) aponta como principal contribuição da reciclagem a preservação dos recursos naturais. Ao substituir-se as matérias-primas pelos resíduos no processo industrial evitam-se maiores destruições da paisagem, flora e fauna, entre outros danos que a extração de matérias-primas causam ao ecossistema.

Estimativas mostram que a maioria dos aterros existentes no mundo terá sua capacidade esgotada em 10 anos (Navarro, 2001). Para amenizar o problema, esse autor defende a reciclagem como uma das alternativas.

Além do mais, os aterros quando recebem resíduos perigosos e não inertes estão sempre sujeitos à ocorrência de acidentes e riscos de contaminação, principalmente para o lençol freático. A incineração também não está livre de riscos.

John (2001) afirma que os mecanismos necessários para se aperfeiçoar os aterros em condições adequadas para se controlar os riscos de acidentes podem

chegar a valores tão elevados que muitas empresas não conseguiriam suportar. Este autor cita o exemplo da cidade de São Paulo, em que os preços destes serviços podem ser superiores a US\$100/ton. De acordo com Navarro (2001) a prática de aterros é a mais cara das soluções para o problema do lixo.

Para reduzir este custo, uma solução seria diminuir o volume exagerado de resíduo produzido, mas esta alternativa apresenta limites técnicos difíceis de ser ultrapassados em uma determinada linha de produção. A reciclagem apresenta-se como alternativa, pois, provavelmente, não tem limites desta natureza, sendo, portanto, uma solução que irá trazer significativa diminuição com gastos em estocagem, além de ficar claro o aproveitamento econômico (John, 1996).

Tem-se defendido que o poder público deve cobrar taxas elevadas no tratamento e deposição de resíduos perigosos como algo incentivador à reciclagem (Allen; Rosselot, 1994 apud John, 2000). Isto já vem sendo feito em alguns locais, forçando as empresas a reduzirem os gastos com o lixo, fazendo com que, com criatividade, passem a ganhar dinheiro com a reciclagem.

Ainda sobre o aspecto econômico, a reciclagem consegue gerar emprego e renda; pode servir como fonte de energia para queima de fornos; consegue na maioria das vezes produzir um determinado material através de processo menos energético que aquele aplicado na fabricação do produto com matérias-primas tradicionais (EPA, 1998 apud John, 2000); (Navarro, 2001), etc.

A reciclagem intervém também na melhoria da saúde das pessoas, reduzindo a poluição ambiental, proporcionando assim menores custos com saúde pública.

Como exemplo de sucesso, pode ser citada a reciclagem de sucata de aço, prática que conseguiu economizar cerca de 6 milhões de toneladas de minério de ferro, deixou de gerar cerca de 2,3 milhões de toneladas de resíduos e cerca de 11 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> no ano de 1997 no Brasil (Ângulo et al., 2001).

### **2.3.3 Aspectos contrários à reciclagem**

Como todo processo, a reciclagem também não é algo totalmente perfeito. Ainda falta muito a ser desenvolvido (pesquisas), para se descobrir as melhores

alternativas de aplicação para os tipos de resíduos, além de técnicas que possam aproveitar todo o potencial de cada resíduo.

Vale lembrar que a própria reciclagem pode causar impactos ao meio ambiente. Por exemplo: o gasto de energia necessário ao processo de transformação; possível geração de novos resíduos, que podem trazer problemas ainda maiores que aqueles que foram reciclados; problemas de saúde para os operários da indústria recicladora ou para os usuários deste novo produto (Ângulo et al., 2001).

Como o assunto de reciclagem é algo bastante polêmico e sua aplicação envolve avaliação de vários critérios, existem alguns pesquisadores que se posicionam contrários ao tema (os anti-recicladores).

Segundo Navarro (2001), a Revista Forbes de 17/11/97 publicou um artigo citando alguns itens que justificam a não necessidade de haver reciclagem:

- não existe necessidade de se conservar matérias-primas, pois não há risco de esgotamento, tanto que os preços vêm caindo ano a ano;
- não existe falta de espaço para aterros sanitários. Segundo estudos do Instituto Cato, todo lixo produzido pelos Estados Unidos em um período de 1000 anos pode ser armazenado em um espaço de 7800 hectares de área por pouco menos de 100m de profundidade;
- a reciclagem só tem sucesso se o novo produto apresentar condições de mercado (preço). Torna-se, porém, inviável nos casos em que o governo gastar com coletas seletivas e a comercialização do produto reciclado não apresentar retorno financeiro para cobrir o investido.

É bem verdade que a reciclagem não é a única solução para a questão dos resíduos, existem outras técnicas que podem ser aplicadas. Colocar no mercado um produto, que tem como origem “o lixo” é algo desafiador para qualquer investimento. Cabem as pesquisas ser desenvolvidas com toda técnica possível, e não com o aspecto “romântico” da causa.

Se ainda existem pessoas que rejeitam os produtos reciclados, com medo de contaminação, pela falta de confiança nos aspectos técnicos do produto ou por não atenderem aos requisitos estéticos e econômicos, um dos motivos pode ser a maneira como certas pesquisas estão sendo desenvolvidas.

Os projetos de reciclagem enfrentam ainda dificuldades peculiares. Por exemplo, John (2000) alerta sobre 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.

#### **2.3.4 Metodologia para estudos de reciclagem**

As melhores alternativas para reciclagem são as que usam resíduos que podem ser utilizados sem precisar passar por nenhum tratamento ou que passam por pouca preparação (separação, classificação e transformação industrial), que tenham facilidade de deslocamento do seu local de origem para o local de aplicação, que ofereçam menores riscos de lixiviação ou volatilização de possíveis fases perigosas e que resultem em um produto reciclável capaz de competir com os similares (John, 2000). Se possível, é interessante desenvolver um produto que tenha o mercado livre, isto é, sem concorrentes diretos. Pode-se fazer pesquisa para verificar se o mercado absorve este novo produto.

Existem situações em que devido à facilidade com que se apresentam devem ser estudadas como a primeira solução de reciclagem. O entulho da construção civil, por exemplo, pode ser usado diretamente em aterros. Pode-se tentar aplicá-lo no mesmo local de origem, como, por exemplo, preenchendo os vazios da construção, assim evita o seu transporte. Em resumo, deve-se buscar os resíduos que apresentam facilidade ou oportunidade de reciclagem.

O envolvimento da indústria geradora do resíduo nas pesquisas é de fundamental importância, pois se torna um facilitador nas aprovações dos projetos nos órgãos financiadores.

A indústria geradora do resíduo deve participar das pesquisas de reciclagem, dando as informações (necessárias à pesquisa) sobre o seu processo de produção para que se possa conhecer melhor o resíduo com que se pretende trabalhar. A indústria deve assegurar que possui um dado volume de resíduo por um determinado tempo, suficiente para garantir o sucesso econômico do investimento no processo de reciclagem e, também, deve estar consciente de que o resíduo, apesar de não ser o

produto principal na produção, poderá ser um novo produto que, assim como os demais, sofrerão exigências relacionadas a prazo de entrega, preço, nível de qualidade, etc. A indústria deve estar aberta para possíveis mudanças no seu processo de produção, se isto for algo benéfico ao resíduo para fins da reciclagem (Desimone; Popoff, 1998). Portanto, deve estar bem clara que as atitudes das indústrias na participação do processo de reciclagem representam mudanças culturais que, em geral, são barreiras a serem vencidas.

Desimone; Popoff (1998) afirmam que as empresas demonstram maior interesse na reciclagem quando esta representa uma diminuição significativa nos seus gastos (despesas diretas) com deposição do resíduo. Além disso, elas devem se preocupar com os custos indiretos, levando em conta a possibilidade de ter a imagem afetada perante a opinião pública, se a mesma for vista como uma empresa que não se preocupa com o meio ambiente (risco de ter seus produtos rejeitados pela sociedade).

John (2000) defende que as pesquisas de reciclagem devem ser desenvolvidas para aplicações que proporcionem melhores desempenhos técnicos, menores impactos ambientais, produtos competitivos e que possam até mesmo oferecer possíveis “nichos” de mercado aos produtos alternativos (uma vantagem a mais para competir com os similares do mercado). É ainda de fundamental importância o desenvolvimento de normas técnicas adequadas ao novo produto.

### **2.3.5 Desenvolvimento do produto reciclado**

#### **2.3.5.1 Generalidades**

A fabricação de um produto com uso de material reciclado deve prever uma fase inicial de convencimento do mercado para a importância de sua utilização e, principalmente, a necessidade de investimentos nessa tecnologia alternativa. A valorização do alternativo como uma opção ao convencional deve possibilitar a geração de um produto com qualidade, estética, produtividade e, o mais importante no aspecto de reciclagem, com potencial para reduzir impactos da poluição

ambiental. Para isso, o estudo de viabilidade (técnica, econômica e ambiental) é tarefa de suma relevância na avaliação de cada caso.

Na Tabela 2.3 é apresentada uma série de itens em que o novo produto deve atender ao usuário. Vale ressaltar que novas necessidades podem surgir com o passar do tempo, portanto esta lista não é algo fixo.

TABELA 2.3 – Requisitos do usuário, com base na ISO 6241, com exceção dos apresentados em itálico, que são ampliação proposta por John et al. (1996) apud John (2000).

Segurança Estrutural	Conforto higrotérmico
Segurança ao fogo	Conforto visual
Segurança em uso	Adequação ao uso
Impermeabilidade ao ar e água	Economia
Pureza do ar	Durabilidade
Higiene	<i>Manutenção</i>
Conforto acústico	<i>Adaptabilidade</i>
Conforto tátil	<i>Impacto ambiental</i>
Conforto antropodinâmico	<i>Desconstrução</i>
	<i>Reciclabilidade</i>

### 2.3.5.2 Viabilidade técnica do produto reciclado

Do ponto de vista da viabilidade técnica, o novo produto com uso de material reciclado deve satisfazer às solicitações a que estará submetido durante sua utilização. Deve ser funcional para o usuário e com tecnologia simples para ser aplicado.

É bem verdade que o usuário é a razão principal para que qualquer produto tenha sucesso. Porém, o novo produto também deve satisfazer às perspectivas dos projetistas e construtores, adequando-se de forma eficaz no processo construtivo e sendo de fácil aplicação (John, 2000).

Existem casos em que a incorporação de resíduos aos produtos tradicionais proporciona melhorias técnicas. Podem ser citados como exemplos já comprovados pela engenharia, o uso da microssilica nos concretos que os transformam em

concretos de alta resistência mecânica e o uso da escória de alto forno que garante aos concretos melhores resultados no combate à corrosão por cloretos.

### **2.3.5.3 Viabilidade ambiental do produto reciclado**

Em todo mundo, existe uma grande variação de resultados a partir de diferentes testes de lixiviação para avaliar os riscos de contaminação ambiental, quando os produtos contendo resíduos entram em contato com a água (Hillier et al., 1999 apud John, 2000). Esta falta de padronização dos testes vêm dificultando, de certa forma, a comparação entre resultados e, em alguns casos, a não aceitação de alguns testes de uma região para outra (Van der Sloot et al., 1997 apud John, 2000).

Inclusive, existem muitas críticas a certos testes, pois alguns métodos de ensaio não representam as condições reais pelas quais o material irá passar durante o seu ciclo de vida útil. Segundo John (2000), é realmente muito complicado simular em testes a realidade que o material irá passar, devido a dificuldade de se produzir os complexos fenômenos das intempéries e devido ao longo período que a lixiviação de fato poderá ocorrer, que irá depender do tipo de material e das condições a que o mesmo estará submetido. Entretanto, o ensaio é realizado em um curto período de tempo.

Segundo este mesmo autor, como a porosidade do material interfere no processo de lixiviação, torna-se ainda mais complicado a análise do impacto ambiental causado por materiais que têm sua porosidade dependente de vários fatores como: relação água/cimento, consumo de cimento e grau de compactação.

Apesar de todas as dificuldades, deve-se realizar testes de lixiviação para avaliar o impacto ambiental causado por um novo produto. Esta análise é tão relevante, que mesmo possuindo boas características técnicas, o produto pode ser inviável se apresentar um elevado impacto ambiental.

Deve-se estar atento para o caso quando o novo produto oriundo de resíduo não for reciclável. John (2000) alerta para o risco de estar no futuro, gerando um aumento na produção de resíduo que irá implicar em maiores problemas ecológicos para as próximas gerações. Portanto, Hartlén (1995) apud John (2000) alerta que quando chegar ao fim a vida útil deste novo produto, se estará gerando um maior

volume de resíduo, conseqüentemente mais áreas poderão ser afetadas com possível lixiviação dos contaminantes que foram espalhados com o novo produto. Segundo este mesmo autor, a questão de espalhamento e diluição dos contaminantes deste novo produto deve ser apreciada no final de sua vida útil, portanto não é uma problemática durante apenas a fase de uso do material. Assim, em alguns casos, é preciso um estudo prévio de como será tratado o resíduo que este novo produto irá gerar e, principalmente, procurar obter produtos que possibilitem a sua “reciclabilidade”.

Sendo a questão ambiental o grande benefício dos produtos reciclados, a humanidade precisa ser conscientizada a valorizar produtos “ecologicamente corretos”, pois muitas pessoas ainda estão insensíveis a isto, ignorando as vantagens destes tipos de produtos.

#### **2.3.5.4 Viabilidade econômica do produto reciclado**

Virjlinbg (1991) apud John (2000) ressalta que além da questão ambiental, o novo produto deve possuir desempenho melhor ou compatível com o produto similar já existente, como forma de garantir uma competitividade econômica.

Porém, fazer um estudo sobre a viabilidade econômica de um processo de reciclagem não é uma tarefa simples. Esta análise passa por particularidades regionais, como custos de deposição em aterros e valores de mercado dos produtos (John, 2000).

Navarro (2001) enumera alguns itens que devem ser previstos em um processo padrão de reciclagem:

1. despesas com coleta e transporte dos resíduos até o local de processamento;
2. despesas na etapa de separação dos materiais e impurezas;
3. despesas nas etapas de processamento como limpeza, refino, moagem, corte, refundição, etc;
4. despesas com saúde ocupacional e segurança dos operários.

O grande desafio das pesquisas de produtos reciclados é a competição em preço com seu concorrente de mercado. Isto é resolvido, em parte, quando se tem um processo de reciclagem de fácil obtenção. Em alguns casos, a reciclagem só é

possível se a empresa geradora do resíduo contribuir no processo de reciclagem, que pode ser até mesmo de forma financeira, para ajudar no processo de beneficiamento do resíduo e diminuir os custos para que as empresas de reciclagem possam chegar a um produto que possua preços competitivos no mercado. Nestes casos, apesar da reciclagem apresentar um custo adicional direto para as empresas geradoras, pode trazer retornos financeiros através de várias outras formas, como por exemplo: redução da carga de responsabilidade criminal perante os eventuais efeitos danosos causados pelos resíduos ao meio ambiente, caso este não seja reaproveitado (Kazmierczak, 1996); a imagem da empresa melhora perante a sociedade (John, 2000); (Politi; Vilhena, 2000) e outras.

É bem verdade que as empresas brasileiras que utilizam materiais reciclados em seus produtos, não demonstram interesse em divulgar ou usar isto como marketing (Moreno, 1998 apud Ângulo et al., 2001). Provavelmente isto acontece devido às empresas acharem que o consumidor leigo possa associar produto reciclado a produto de baixa qualidade, porém só poderá ser comprovado se de fato existe esta relação com a realização de pesquisa de mercado (Ângulo et al., 2001).

Às vezes, pelo fato do concorrente possuir um produto mais conhecido no mercado, torna-se difícil esta competição. Existe, ainda, a estratégia do concorrente (produto convencional) baixar o preço de seu produto, como forma de garantir sua fatia no mercado. Para se evitar concorrências desleais, em que o concorrente (produtor convencional) fabrica bons produtos, porém com males ao meio ambiente, é preciso que as leis ambientais sejam mais severas para dificultar ou, até mesmo nos casos mais graves, coibir a fabricação de produtos maléficis ao meio ambiente.

### **2.3.5.5 Vantagens do produto reciclado**

A orientação ambientalista é que se reduza, recicle e reutilize os resíduos, evitando os sistemas de descarte (Kazmierczak, 1996). Como nem sempre é possível evitar a geração de resíduos, as empresas devem optar pelos programas de reciclagem não somente para seguir as leis ambientais, mas também como forma de gerar produtos que possuem vantagens adicionais que justifiquem sua produção e aplicação, tais como:

- uso de matéria prima barata e disponível;
- capacidade de ser fabricado através de processos econômicos. Por exemplo, uma lata de alumínio produzida através de reciclagem utiliza aproximadamente 95% menos energia do que quando produzida no processo convencional;
- capacidade de gerar tecnologias apropriadas, podendo ser mais fácil sua aplicação.

### **2.3.5.6 Dificuldades com produto reciclado**

Como todo produto, os produtos reciclados apresentam dificuldades, que merecem ser estudadas para se reduzir ao máximo. Neste caso, o desafio torna-se maior pelo fato de ser um material alternativo, que foge aos “padrões” implantados pelo sistema, mas que nem por isto devem ser excluídas suas aplicações, pois, como visto anteriormente, apresentam vantagens ambientais adicionais.

São citadas a seguir, outras questões relacionadas com as dificuldades com produtos reciclados:

- existem pesquisas “simplificadas” que produzem produtos de inferior qualidade e que podem até mesmo causar danos ambientais (John, 2000);
- os produtos reciclados possuem volume de estudo muito inferior aos dos materiais convencionais;
- não existem normas específicas para os novos produtos;
- em alguns casos, falta produção em larga escala;
- existe pouca visão e vontade política para incentivar o uso dos produtos reciclados;
- os novos produtos são taxados como “material de pobre”.

## **2.4 A Reciclagem na Construção Civil**

### **2.4.1 Generalidades**

O setor da construção civil é certamente o maior gerador de resíduos sólidos de toda sociedade. De todos os resíduos sólidos produzidos em centros urbanos de

médio e grande porte no Brasil, estatísticas mostram que cerca de 50% a 80% de valores em massa são provenientes de entulhos produzidos da construção civil (Latterza, 2000). Nas cidades brasileiras, a maioria destes resíduos é depositado clandestinamente. Os aterros clandestinos têm obstruído córregos e drenagens, colaborando com as enchentes, favorecendo a proliferação de mosquitos e outros vetores, levando boa parte das prefeituras a gastar grande quantidade de recursos públicos na sua retirada. É comum nos bota-foras e nos locais de deposições irregulares a presença de roedores e insetos (aranhas, escorpiões, mosquito da dengue, etc.).

A construção civil também é responsável por cerca de 15% a 50% do consumo dos recursos naturais extraídos (John, 2000). No Brasil, o consumo de agregados naturais somente na produção de concreto e argamassas é de 220 milhões de toneladas. Em volta das grandes cidades, os agregados naturais começam a ficar escassos, inclusive graças ao crescente controle ambiental sobre a extração das matérias-primas.

Esta realidade tem forçado a construção civil na busca para diminuir o consumo de produtos naturais, diminuir a quantidade de entulho e dar um destino ecologicamente correto a seu resíduo. Atualmente, a construção civil tem desenvolvido um bom potencial para reciclar seus próprios resíduos, graças a evolução de inúmeras pesquisas desenvolvidas nas últimas décadas, que tem comprovado a viabilidade técnica e econômica. Segundo Vazquez (2001), o setor da construção civil tornou-se nessa última década algo primordial na política ambiental.

Para diminuir o desperdício nas obras, além da necessidade de ter-se um projeto rico em detalhes, a indústria da construção civil precisa fazer um melhor planejamento das etapas da obra, ter um maior controle dos serviços, bons cronogramas, aperfeiçoar as ferramentas de trabalho, capacitar a mão-de-obra, elevar o nível educacional dos operários, incentivar a participação dos trabalhadores na produção e investir em pesquisas para melhorar as técnicas executivas. A adoção de sistemas construtivos, por exemplo, com o uso intensivo de pré-fabricados, pode proporcionar uma menor perda de material.

### 2.4.2 Metodologia para estudos de reciclagem na construção civil

As normas técnicas aplicáveis na construção civil são direcionadas para produtos convencionais e suas técnicas de aplicação. Os trabalhos que pesquisam novos produtos geralmente as utilizam para avaliar o desempenho destes e abordam, principalmente, as questões meramente tecnológicas, isto é, se restringem às aplicações das normas de resistência mecânica. Essa metodologia, usada em inúmeras pesquisas, está sendo questionada no meio técnico-científico. Esse questionamento baseia-se no seguinte fato: por se tratar de novos produtos, que utilizam matérias-primas diferentes das convencionais, estes estão sujeitos a comportamentos diferentes dos produtos convencionais, podendo requerer novas técnicas de aplicação e apresentar novos tipos de patologias.

Por serem produzidos a partir de resíduos, estes novos produtos devem ser analisados quanto ao risco ambiental, desde o manuseio do resíduo bruto, passando pelo seu tratamento e aplicação (destino final), e, finalmente, avaliações durante seu uso ao longo do tempo. É bem verdade que, devido à limitação do tempo da maioria das pesquisas que estudam as aplicações dos resíduos na construção civil, este acompanhamento mais completo não é realizado, o que não elimina a relevância de ter-se este tipo de avaliação dos produtos alternativos propostos. Sendo, portanto, imprescindível que as pesquisas dêem prosseguimento umas às outras.

O primeiro trabalho no Brasil que sugere uma sistemática a ser seguida neste tipo de pesquisa foi elaborado por Cincotto em 1988, quando foram apresentados alguns pré-requisitos necessários para trabalhar a reciclagem com garantias mínimas de competitividade. Dentre esses requisitos estão:

1. “a quantidade disponível de resíduo em um local deve ser suficientemente grande para justificar o desenvolvimento de sistemas de manuseio, processamento e transporte;
2. as distâncias de transporte envolvidas devem ser competitivas com os materiais convencionais;
3. o material não deve ser potencialmente nocivo durante a construção ou posteriormente à sua incorporação na estrutura”.

O Workshop reciclagem de resíduos como materiais de construção (1996) apresenta diretrizes gerais a serem seguidas nos dois tipos de projetos (pesquisa

básica e pesquisa aplicada) que utilizam resíduos como matéria-prima para a construção civil.

As pesquisas básicas:

1. podem ser 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).

As pesquisas aplicadas (são desenvolvidas após obter-se resultado satisfatório na pesquisa básica):

1. podem buscar o aperfeiçoamento do produto;
2. podem apresentar 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.

### **2.4.3 Aplicações do entulho da construção civil**

#### **2.4.3.1 Generalidades**

Existem registros do uso de materiais reciclados na construção civil desde o Império Romano. Naquela época, algumas cidades já utilizavam agregados de tijolos britados (Grun, 1935 apud Levy, 1997). Somente a partir de 1928 começaram a existir pesquisas ordenadas que analisavam o efeito da quantidade de água, da granulometria dos agregados e do consumo de cimento, provenientes de alvenaria britada (Wedler; Hummel, 1946 apud Levy, 1997). A primeira aplicação em grande escala destes materiais reciclados aconteceu na reconstrução de muitas cidades européias, após o final da 2ª Guerra Mundial (Ângulo et al., 2001).

Países como Japão, Dinamarca, Holanda e Estados Unidos, entre outros, já perceberam a necessidade de reciclar as sobras da construção civil e tem pesquisado intensamente o assunto visando atingir determinado grau de padronização dos

procedimentos adotados para obtenção de agregados, atendendo aos limites de um padrão mínimo de qualidade.

Nos Estados Unidos existem inúmeras pesquisas e aplicações de reciclagem de entulhos em várias áreas da engenharia, principalmente em pavimentação. Por exemplo, em 1964, agregados reciclados foram utilizados na execução da sub-base de uma rodovia na cidade de Dallas.

Na Holanda, o uso de agregados reciclados na confecção de concretos começou em 1985, inclusive para fins estruturais em painéis pré-moldados. Percebeu-se a necessidade de elevar-se o consumo de água para se atingir a plasticidade igual a de um concreto convencional com um mesmo consumo de cimento, além da necessidade de ter-se uma maior energia de vibração durante o adensamento. Apesar do concreto ter apresentado maior retração, devido a maior quantidade de água utilizada na moldagem, não ocorreram fissuras que o prejudicasse (Hendriks, 1984 apud Levy, 1997).

No Brasil, o estudo de reciclagem de entulho teve início com Tarcísio de Paula Pinto em 1983, sendo que as primeiras usinas de reciclagem começaram a produzir, em larga escala, somente no final de 1995 na cidade de São Paulo (Levy, 1997).

As principais aplicações do entulho na construção civil estão associadas ao uso direto em aterros, preenchimento de vazios em construções ou bota-foras. O entulho pode também ser beneficiado para ser utilizado como agregado em pavimentos rodoviários, em concretos, em peças pré-moldadas ou em argamassas.

#### **2.4.3.2 Aplicação de entulhos da construção civil em blocos de vedação**

De Pauw (1982) apud Ângulo (2000) estudou a substituição de agregados naturais por reciclados, na produção de blocos de vedação, com traço padrão de 1:8, porém sempre mantendo certa quantidade de areia natural. Na Tabela 2.4 é apresentado o estudo de dosagem realizado, bem como a resistência à compressão média das séries avaliadas.

TABELA 2.4 - Estudo de dosagem para determinação do traço e resistência à compressão média dos blocos produzidos com resíduos de construção e de demolição (De Pauw, 1982 apud Ângulo, 2000).

Série	Traços	Dosagem em massa				Resistência à compressão	
		Cimento Portland	Agregados naturais		Entulho reciclado		
	1:m	kg	Miúdo kg Grãos 0 a 2mm	Graúdo kg Grãos 4 a 8mm	kg Grãos 0 a 25mm	kg Grãos 3 a 12mm	MPa
referência	1:8	50	100	300			3,7
1	1:8	50	150		250		2,2
2	1:8	50	100		200		3,3
3	1:8	50	200		200		2,9
4	1:8	50	150			300	4,1
<b>5</b>	<b>1:8</b>	<b>50</b>	<b>150</b>			<b>250</b>	<b>7,0</b>
6	1:8	50	200			200	2,1

Traços utilizados para a produção de 24 blocos (390mm x 190mm x 190mm)

Percebe-se que ocorreu uma queda da resistência à compressão média comparada ao traço de referência, quando foi aplicado material reciclado da fração 0 a 25mm. Por outro lado, os resultados obtidos com a utilização da fração 3 a 12mm de material reciclado, foram bem melhores, superando inclusive o traço de referência. Isto pode ter ocorrido por causa da presença de alto teor de material fino proveniente do entulho reciclado. Pode-se ver que em todos os casos a resistência à compressão não foi um fator limitante à sua aplicação, atingindo valores superiores aos parâmetros de norma (no Brasil >2,5MPa). Destaca-se o alto valor de resistência à compressão obtida para a série 5 que utiliza apenas a fração 3 a 12mm de agregado reciclado.

No Brasil, têm-se informações a respeito da construção de um alojamento utilizando blocos com resíduo de construção e demolição reciclado, nas dependências da Usina de Asfalto Municipal, no bairro da Barra Funda na cidade de São Paulo, entre os anos de 1992 e 1993. A EMURB (Empresa Municipal de Urbanização de São Paulo) também realizou estudos para implantar uma fábrica de blocos junto à usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição de Itatinga,

São Paulo (Toaldo, 1993 apud Ângulo, 2000). Collins (1998) apud Ângulo (2000) argumenta que a utilização de 75% de agregados de resíduo de construção e de demolição como agregados reciclados na produção de blocos foi possível sem nenhuma dificuldade, apresentando bom desempenho.

Segundo Levy (1997), mesmo com a prática da reciclagem, sempre haverá entulho proveniente do desperdício dos processos construtivos atualmente em vigor. Portanto, a construção civil deve aprimorar a sua forma de trabalho, ao mesmo tempo em que os órgãos públicos deverão adotar medidas de incentivo aos construtores para reciclar, no próprio canteiro, todo o entulho mineral gerado. Somente dessa forma poderá ser amenizado um dos maiores problemas do Terceiro Milênio, que será gerar espaço físico para deposição de volumes crescentes de material descartado.

#### **2.4.4 Uso de resíduos de outras indústrias na construção civil**

##### **2.4.4.1 Generalidades**

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, deve ser valorizada em contraposição à simples otimização dos sistemas de descarte que apenas protelam a solução do problema de agressão ambiental. De fato, o potencial do setor da construção civil é muito grande para absorver os resíduos industriais. Concorrem para isto a necessidade de redução do custo da construção, a grande quantidade de matéria-prima e a diversidade de materiais empregados na produção, ampliando as opções de uso de resíduos com diferentes funções na edificação (Cincotto, 1988).

Existem inúmeras pesquisas que estudam a reciclagem dos mais diversos resíduos originados dos setores industriais. Devido à complexidade com que estas pesquisas se desenvolvem, pela necessidade de integrar conhecimentos característicos de diferentes especificações, há um envolvimento de profissionais de

várias áreas, como engenharia de materiais, química, biologia, saneamento, marketing, etc.

Esses profissionais estão cada vez mais envolvidos e fazendo relevantes descobertas quanto ao potencial que certos resíduos industriais possuem como material de construção civil. São trabalhos que enriquecem e contribuem de forma significativa os workshops, congressos e seminários sobre reciclagem.

#### **2.4.4.2 Resíduos da indústria de calçados**

Kern (1999) desenvolveu um estudo da adição do resíduo gerado na operação de corte das peças de contrafortes de calçado impregnado e laminado em matriz de gesso. Foi proposto um compósito para a construção civil, com potencial de viabilidade técnica e econômica.

O aproveitamento de resíduos de EVA no setor da construção civil tem sido estudado no Rio Grande do Sul, região que concentra um grande número de indústrias de calçados no Brasil. Naquela região, inclusive, já existe empresa (MAISON Indústria e Comércio de Artefatos de Cimento Ltda: [www.britaleve.com.br](http://www.britaleve.com.br)) que beneficia os resíduos sintéticos da indústria de calçados para produzir agregados leves. Os resultados publicados por essa empresa na internet (Tabela 2.5) demonstram que não é fácil obter resistências à compressão compatíveis ( $>2,5\text{MPa}$ ) com os parâmetros da Norma NBR 7173 - Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria sem Função Estrutural.

Observa-se que somente uma dosagem (1:2:3) atinge resistência à compressão ( $f_{c28}$ ) igual a 2,40MPa (maior valor obtido). Neste caso, o teor de brita leve é 60% em relação ao total de agregados na dosagem 1:5 (1:m). Vale salientar que não estão claras as informações se a dosagem é em massa ou em volume e se o resultado obtido representa ensaios realizados com corpos-de-prova cilíndricos ou em blocos de vedação.

TABELA 2.5 – Comparação entre resultados de resistência à compressão ( $f_{c28}$ ) para várias dosagens com resíduos da indústria de calçados EVA (MAISON, 2001).

DOSAGENS Cimento.:areia:britaleve	MASSA ESPECÍFICA APARENTE ( $\text{kg/m}^3$ )		$f_{c28}$ MPa	Ensaio realizado em laboratório da instituição
	inicial	após 28 dias		
1 : 0 : 4	590	490	0,60	UFSM
1 : 0 : 6	505	420	0,28	FALCÃO BAUER
1 : 0 : 8	415	345	0,22	FALCÃO BAUER
1 : 1 : 2	1270	950	1,46	UFSM
1 : 1 : 3	1010	770	0,85	UFSM
1 : 1 : 4	932	698	0,77	UFSM
1 : 1 : 6	708	529	0,52	FALCÃO BAUER
1 : 2 : 3	1370	1100	2,40	FALCÃO BAUER
1 : 2 : 5	956	727	0,91	FALCÃO BAUER
1 : 3 : 4	1276	960	0,90	UFSM
1 : 3 : 5	1133	838	0,70	UFSM

Dados da literatura (Garlet, 1998) revelam outra dificuldade em relação aos resultados de resistência à compressão obtidos com os compósitos leves com resíduos de EVA. O fato é que, considerando a mesma dosagem do compósito (1:5) na comparação entre os resultados obtidos com amostras em corpos-de-prova cilíndricos (1,92MPa) e os obtidos com os blocos de vedação (0,81MPa), observa-se que ocorreram grandes disparidades, sendo muito baixas (menos da metade) as resistências obtidas com os blocos (Tabela 2.6).

Apesar disso, esse estudo realizado por Garlet (1998) traz muitas contribuições no que se refere ao estudo de dosagem, apresentando vários resultados que caracterizam o comportamento dos compósitos no estado fresco e endurecido. Apresenta também interessante estudo de granulometria do resíduo de EVA, avaliando a influência de um tratamento térmico no EVA antes da moldagem dos compósitos. Destaca-se que os resultados de absorção de água de todas as dosagens avaliadas também não atendem aos parâmetros da Norma 7113/82 (Abs < 10%).

TABELA 2.6 – Alguns resultados obtidos no estudo de dosagem com agregados de EVA, com corpos-de-prova cilíndricos e blocos de vedação (Garlet, 1998)

% de EVA	Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )	f <sub>c7</sub> (MPa)	f <sub>c28</sub> (MPa)	Absorção de água (24 horas) (%)	
1:3	60	421	1352	2,20	3,40	16,49
	70	444	1246	2,00	2,86	16,66
	80	466	1121	1,20	1,80	19,20
	100	508	667	0,53	0,70	45,30
1:5	60	280	1276	1,00	1,92	24,99
	70	295	1143	0,75	1,60	26,75
	80	311	957	0,59	1,10	32,97
	100	348	539	0,35	0,40	48,78
1:5	60	Ensaio realizado com blocos 14cmX19cmX39cm		0,81	12,40	
1:7	60	209	1187	0,41	0,60	24,05
	70	221	1019	0,33	0,45	32,80
	80	234	618	0,13	0,15	36,24
	100	264	288	0,07	0,10	57,50

Esse trabalho (Garlet, 1998) é o referencial que existe sobre o tema no Brasil, sendo a primeira pesquisa brasileira que abordou a questão do aproveitamento de resíduos de EVA na construção civil. A partir dela é que surgiu a possibilidade de comercialização de produtos com os resíduos sintéticos beneficiados.

Em sua pesquisa, Garlet (1998) coletou resíduo de indústria de calçados da região do Vale dos Sinos, o triturou em um moinho, obtendo-se assim um agregado de EVA com determinada granulometria. Na etapa experimental do trabalho, foram avaliadas as condições de trabalhabilidade e consistência necessárias à mistura no estado fresco, bem como as propriedades físicas e mecânicas do concreto endurecido. Os ensaios foram realizados a partir de corpos-de-prova cilíndricos.

Segundo Garlet (1998), as aplicações e as vantagens possíveis na construção civil para o uso de compósitos leves obtidos a partir de agregados de EVA podem ser: enchimento para lajes rebaixadas, isolamento acústico entre pavimentos, isolamento térmico nas lajes de forro, etc. Isto evidencia a grande potencialidade desse resíduo para uso em diversos componentes e sistemas na construção civil, sem função estrutural.

Ainda com base nesse estudo, verificou-se que uma propriedade marcante dos compósitos avaliados foi a baixa rigidez, comportamento atribuído às propriedades

do agregado de EVA. Considerando essa característica e levando em conta o alto consumo de cimento necessário para se obter maior resistência à compressão, concluiu-se que o grande potencial de aplicação deste compósito é para o isolamento térmico e a produção dos chamados pisos flutuantes que podem atenuar os ruídos transmitidos em lajes entre os pavimentos de edifícios. Portanto, não se viabilizou a fabricação de blocos de vedação.

Em sua pesquisa, Garlet (1998) realizou alguns ensaios complementares com blocos. Com o auxílio de um maçarico, com temperatura de chama de 700°C, dois blocos de EVA com traço 1:5, sendo um com 50% de EVA e o outro com 70% foram submetidos à ação do fogo durante 10 min. Os blocos ficaram com manchas escuras em sua superfície, porém não houve colapso do elemento nem propagação da chama.

Um outro ensaio complementar foi o de avaliação das propriedades acústicas do material, realizado em uma parede composta por blocos de EVA. Verificou-se que a parede sem revestimento não apresentou bom isolamento (15,0 d.B.(A)), devido à característica porosa do bloco, que facilita a passagem do som. Já a parede com revestimento apresentou bom desempenho (41,5 d.B.(A)), que pode ser comparado aos apresentados pelas paredes de alvenaria de blocos cerâmicos e de concreto.

Foi realizada ainda uma avaliação da resistência do agregado de EVA à colonização por fungos. Foram utilizados fungos pertencentes às espécies *Aspergillus Fumigatus* e *Aspergillus Niger*, que são organismos comuns do ar e do solo. Os métodos de avaliação foram o método da câmara tropical e o método da placa de Petri. Os resultados mostraram que não houve avanços na colonização de fungos após um período de 90 dias de observação e Garlet (1998) conclui, portanto, que este resíduo poderá ser empregado na construção civil sem precisar fazer qualquer tratamento fungicida, pois as amostras não se apresentaram suscetíveis ao ataque desses fungos.

O número ainda reduzido de trabalhos com abordagem sobre o aproveitamento de EVA na construção civil, somado às questões levantadas anteriormente, encorajam o desenvolvimento de novos estudos, como é o caso da presente pesquisa (dissertação de mestrado do autor), em que são avaliadas as possibilidades técnicas

de produzir blocos de vedação, aproveitando os resíduos de EVA como agregado para o concreto.

Apesar de todas as dificuldades de desenvolver-se pesquisas e o grande desafio de introduzir-se um produto reciclado no mercado, foram aqui citados apenas alguns exemplos bem sucedidos de pesquisas já realizadas, mas o universo é ainda maior.

Apesar da existência de pesquisas que mostram a capacidade da construção civil em absorver vários tipos de resíduos, cabendo para isto ocorrer o tratamento adequado destes, Ângulo et al. (2001) consideram ainda pouco expressiva a reciclagem de resíduos no Brasil como materiais de construção, se comparado aos países do Primeiro Mundo; são exceções os casos das indústrias de cimento e de aço no Brasil.

## **2.5 O Concreto Leve**

### **2.5.1 Generalidades**

A massa unitária dos concretos normais é em torno de  $2400\text{kg/m}^3$ . Portanto, as estruturas de concreto precisam ser dimensionadas para suportar cargas que são em grande parte devido ao seu próprio peso.

O concreto leve, como o nome diz, apresenta-se com menor massa unitária e, portanto, menor peso próprio, que varia de  $300\text{kg/m}^3$  a  $1800\text{kg/m}^3$ . Sua resistência à compressão varia desde  $0,3\text{MPa}$  à  $70\text{MPa}$ . O grande intervalo dessas grandezas é devido a grande variedade de métodos e materiais aplicados na obtenção deste tipo de concreto (Neville, 1997).

Consegue-se reduzir a massa unitária do concreto substituindo parte dos materiais sólidos que o compõem por ar. Esta alteração faz com que este concreto apresente características próprias e, portanto, aplicações específicas que justifiquem seu uso.

Spratt (1960) apud Garlet (1998) relata o uso de concreto leve no Couliseu, na cúpula de Pantheon com 44m de diâmetro e outras edificações de 2000 anos atrás.

Porém, somente no século passado aconteceram avanços significativos no uso de concreto leve. Bremner (1998) cita, como exemplo, o grande sucesso da construção do navio USS Selma, em 1919, feito com concreto leve.

Atualmente, esse tipo de concreto está sendo utilizado com sucesso em diversas áreas da construção civil, com aprovação pelos códigos e normas públicas internacionais.

### 2.5.2 Vantagens no uso de concreto leve

Por possuir massa unitária significativamente inferior à dos concretos convencionais, o concreto leve proporciona às edificações alguns vantagens, como por exemplo:

1. alívio de carga na estrutura - isto resulta em elementos estruturais com menor seção transversal, em redução na quantidade de pilares, ganho de espaço útil tanto dentro dos compartimentos da edificação quanto nas vagas de garagem;

2. alívio de carga nas fundações - como as fundações irão receber menos carga, pode-se obter fundações com menores dimensões. Pode-se viabilizar a execução de uma dada edificação em solo que apresente baixa tensão admissível, pois o uso do concreto leve possibilita o alívio de cargas nas fundações (Cause; Montens, 1992 apud Neville, 1997);

3. aumento da produtividade - ao se trabalhar com concreto mais leve tem-se maior facilidade de transportá-lo para o local de execução. Pode-se também obter peças maiores, por exemplo, o uso de tijolos com maiores dimensões permite assentar menor quantidade de blocos por m<sup>2</sup> e ainda redução no consumo da argamassa de assentamento;

4. redução no consumo de fôrmas – considerando que as peças podem ser com menores dimensões, o consumo das fôrmas são menores também. Além do mais, por ser o concreto mais leve, as fôrmas devem suportar pressões menores do que com concretos normais (Neville, 1997), assim podem ser usadas fôrmas menos robustas, com redução também no escoramento;

5. diminuição no consumo de ferragem - com a redução do peso próprio, pode-se ter uma diminuição da seção de ferro necessária na estrutura em relação ao

concreto normal, e isto traz economia para a edificação. Bremner (1998) cita uma outra grande vantagem, que é a compensação do consumo de energia na produção de agregados leves em fornos rotativos, pela economia de energia gasta na obtenção de ferro, ao reduzir o consumo desse último, devido ao uso de concreto leve;

6. ajuda na preservação do meio ambiente - em alguns casos podem ser utilizados resíduos industriais na sua obtenção e isto evita o uso das reservas naturais (Sobral, 1996).

Pode ser ainda considerado como vantagem, conforme situação específica, o bom isolamento térmico proporcionado por esse tipo de concreto, considerando que a baixa condutividade térmica é uma propriedade que melhora com a diminuição da massa unitária (Short; Kinniburgh, 1967 apud Garlet, 1998).

### 2.5.3 Limitações no uso de concretos leves

Existem algumas limitações no uso de concretos leves, como por exemplo:

1. Possui grande absorção de água - esta é uma importante característica do concreto leve, que, devido a sua alta porosidade, há uma elevada absorção de água. Neville (1997) afirma que o agregado leve absorve uma certa quantidade da água da mistura necessária para a hidratação do cimento. O valor de água absorvida pelo agregado varia bastante, conforme o tipo de agregado e seu grau de saturação. Poderá ser demasiadamente grande, se este for utilizado seco, ou poderá não haver absorção de água da mistura, se o agregado a ser utilizado passar por uma imersão prévia em água até ficar saturado. Quando o agregado passa por uma secagem ao ar, ele pode absorver entre 70kg e 100kg de água por metro cúbico de concreto. Para o ACI 213R-87, segundo Neville (1997), em geral após 24 horas a absorção do agregado leve está entre 5% e 20% em relação a massa do material seco. Portanto, o agregado leve deve ser imerso em água antes de compor a mistura, caso contrário irá absorver a água de amassamento. Smeplass et al. (1992) apud Neville (1997), explicam que se isto ocorrer surgirão vazios no concreto que poderão comprometê-lo;

2. dificuldade de se controlar a relação água/cimento na mistura - como o material é umedecido antes da mistura, não se sabe a quantidade de água “livre” que este leva consigo. Zhang; Gjorv (1991) apud Neville (1997), advertem que o

agregado leve precisa de algum tempo para completar a absorção e isto é mais um complicador na determinação da água necessária para garantir a absorção do agregado e a hidratação do cimento. Segundo esses mesmos autores, a velocidade de absorção está relacionada com o tipo de revestimento da superfície do agregado e com o seu sistema de poros internos;

3. na maioria das vezes, utiliza-se maior teor de cimento, comparado aos concretos normais - isto representa um custo maior no valor do concreto (Sobral, 1996); (Neville, 1997); (Mehta; Monteiro, 1999), porém deve ser analisado o projeto como um todo e não apenas se limitar ao custo dos materiais (Neville, 1997);

4. em geral possui resistência menor que os concretos convencionais.

#### **2.5.4 Classificação dos concretos leves**

O ACI 213R-87 divide os tipos de concretos leves de acordo com sua aplicação, através da massa específica (Neville, 1997):

- concreto leve estrutural: possui massa unitária entre  $1350\text{kg/m}^3$  e  $1900\text{kg/m}^3$  e é usado para fins estruturais, desde que tenha resistência mínima à compressão de 17MPa (em corpos cilindros);

- concreto de resistência média: possui massa unitária entre  $800\text{kg/m}^3$  e  $1350\text{kg/m}^3$ , é usado em situações que não seja submetido a grandes esforços, tem moderada característica de isolamento térmica e deve ter resistência à compressão entre 7MPa a 17MPa (em corpos cilindros);

- concreto de baixa massa unitária: possui massa unitária entre  $300\text{kg/m}^3$  e  $800\text{kg/m}^3$ , é usado para fins não estruturais, geralmente como isolamento térmica, e possui baixa resistência, com valores menores que 7MPa (em corpos cilindros).

#### **2.5.5 Tipos de concretos leves**

##### **2.5.5.1 Generalidades**

Os concretos leves podem ser obtidos através de três métodos distintos de produção (Short & Kinniburgh, 1967 apud Garlet, 1998):

- concreto com agregados leves: usa-se agregado oco, celular ou poroso, obtido geralmente através de incorporação de ar nas suas partículas, havendo substituição do agregado grão natural por agregado leve;
- concreto sem finos: caracteriza o concreto que não utiliza o agregado miúdo;
- concreto celular, aerado ou concreto gás: trata-se do concreto que contém vazios formados através da introdução de grandes quantidades de gases no interior da pasta de cimento.

### 2.5.6 Concreto com agregados leves

Este tipo de concreto é obtido com o uso de agregados leves grãos (granulometria geralmente entre 5 e 19mm) em misturas com agregado miúdo normal (Spratt, 1960 apud Garlet, 1998).

Segundo este mesmo autor, a massa unitária do concreto com agregados leves é função da granulometria do agregado, do teor de umidade, do traço e do grau de compactação do concreto. Conforme seu valor, têm-se as seguintes utilizações desse tipo de concreto, em função da sua massa unitária:

1. entre 300 a 800kg/m<sup>3</sup>: utilizado geralmente para fins de isolamento térmico;
2. entre 800 a 1350kg/m<sup>3</sup>: utilizado principalmente como elementos de vedação;
3. acima de 1350kg/m<sup>3</sup>: utilizado para fins estruturais.

#### 2.5.6.1 Tipos de agregados leves

- Agregados naturais:

São na sua maioria de origem vulcânica, como por exemplo: as cinzas vulcânicas e as pedras pomes. Esses agregados são encontrados em apenas alguns locais do mundo e por isso não são muito utilizados (Neville, 1997).

- Agregados obtidos de processo industrial:

São agregados que passam por algum tipo de transformação que causa expansão, reduzindo assim sua massa específica aparente. Podem utilizar-se de matéria-prima natural beneficiada (argila, vermiculita, ardósia, folhelho, perlita, etc)

ou de subprodutos industrializados (cinza volante, escória de alto forno, resíduos de minas de carvão, etc) (Sobral, 1996). Segundo Neville (1997), devido o processo industrial, estes agregados apresentam-se geralmente mais uniformes do que os agregados naturais.

O processo de transformação para fabricar agregados leves a partir de materiais naturais pode ser através de fornos rotativos, em que as partículas são submetidas a temperaturas que podem chegar até 1200°C, com o objetivo de provocar a expansão de gases que se encontram dentro da massa. Em consequência do efeito do calor tem-se a expansão do agregado, formando uma estrutura porosa, que se mantém após o resfriamento. Pode-se obter a granulometria desejada através de britagem do agregado, tanto antes da calcinação quanto após o resfriamento. Em geral esse agregado possui massa unitária entre 300kg/m<sup>3</sup> a 650kg/m<sup>3</sup> (Neville, 1997).

Segundo este mesmo autor, existe o processo que usa esteira de sinterização, em que o material é envolvido por substâncias carbonosas e então passa junto com as esteiras por queimadores, garantindo-se que a queima chegue em toda a profundidade da camada do material. Devido a alta viscosidade os gases ficam aprisionados. O material é britado depois de resfriado e possui massa unitária entre 600kg/m<sup>3</sup> a 900kg/m<sup>3</sup>.

Para se obter melhor trabalhabilidade das misturas e concretos com maiores resistências e melhores aspectos, pode-se optar por usar argila pelotizada ou folhelho pulverizado, que fazem com que as superfícies dos agregados fiquem lisas, vitrificadas e absorva menor quantidade de água do que os demais agregados não revestidos.

Existem vários tipos de agregados leves obtidos a partir de subprodutos industriais e vários processos para a sua obtenção. A cinza volante, por exemplo, passa por etapas de umedecimento, pelotização e sinterização. São agregados que se apresentam de forma arredondada e possuem massa específica aparente em torno de 1000kg/m<sup>3</sup> (Neville, 1997).

Existem três processos para obtenção da escória de alto forno expandida. O processo mais moderno produz escória pelotizada expandida. Nesse processo, a escória é fundida e depois lançada por meio de uma corrente de água formando-se

pelotas, que possuem superfície lisa e formas arredondadas, e através de técnicas de produção adequadas, pode-se chegar a um agregado cristalino. O material é britado para se obter a granulometria desejada e possui geralmente massa específica aparente de  $850\text{kg/m}^3$  (Neville, 1997).

#### 2.5.6.2 Características do concreto com agregados leves no estado plástico

Este concreto, por possuir baixa massa unitária, sofre menor efeito da força da gravidade durante o adensamento, diminuindo assim a sua trabalhabilidade (Murata, 1967 apud Neville, 1997).

Com isso, ao se aplicar o ensaio de abatimento do tronco de cone conduz-se a uma escala de resultados muito limitada (entre 0 – 25mm, mesmo para concretos leves com excelente trabalhabilidade). Portanto, este ensaio não deve ser aplicado em concreto leve, pois implicará em resultado mascarado. Devido à dificuldade de se obter uma precisão satisfatória a partir de testes convencionais com concreto leve, Short & Kinniburgh (1967) apud Garlet (1998) defendem o fator de compactação como o método mais apropriado na determinação da trabalhabilidade.

Quando se tem um alto valor do abatimento (misturas plásticas), pode ocorrer segregação quando as partículas grandes do agregado tendem a ficar flutuando sobre a água, o que pode ser agravado devido a adensamento demorado (Neville, 1997).

Para melhorar a trabalhabilidade e ajudar na aglutinação dos componentes da mistura, pode-se aplicar aditivos incorporadores de ar, que reduz o uso da água. O ACI 213R-87 apud Neville (1997) sugere que se utilizem teores de ar incorporado de 4% a 8%, para agregados com dimensão máxima de 20mm, e 5% a 9%, para agregados com 10mm, pois para valores superiores a estes o concreto sofre uma redução de aproximadamente 1MPa na sua resistência mecânica a cada acréscimo de 1% de ar em relação ao volume total de concreto.

A trabalhabilidade do concreto leve é também prejudicada pela absorção de parte da água de amassamento pelo agregado leve. Spratt (1960) apud Garlet (1998) recomenda, portanto, que se molhe ou sature o agregado leve até o momento da mistura, além de se trabalhar com elevados teores de cimento.

A quantidade de água na produção do concreto leve está relacionada com o tipo de superfície e com a forma das partículas (Neville, 1997), que influenciam na capacidade de absorção do agregado. Considerando a grande variedade dos tipos de partículas, fica difícil estabelecer um valor padrão da quantidade de água a ser usada na mistura. Spratt (1960) apud Garlet (1998) defende que, para se obter a melhor dosagem, conforme as características que se queira do concreto leve, deve-se fazer os ajustes das propriedades através de tentativas de dosagem, lançando mão de misturas experimentais.

### 2.5.6.3 Características do concreto com agregados leves no estado endurecido

- Resistência mecânica:

Albrecht (1968) e UNITED NATIONS (1972) apud Garlet (1998) afirmam que a resistência é função da resistência da argamassa, do teor de agregado miúdo, do diâmetro máximo do agregado e da resistência do grão.

Várias pesquisas sobre resistência do concreto leve têm comprovado que a resistência aumenta quando aumenta sua massa unitária.

Lydon (1982) apud Neville (1997) afirma que a resistência do concreto é função do consumo de cimento, pois como a massa unitária do cimento é bem maior que a do concreto leve, aumentando a quantidade de cimento, aumenta a massa unitária do concreto e, conseqüentemente, sua resistência.

Para Short; Kinniburg (1967) apud Garlet (1998), a resistência e a trabalhabilidade do concreto leve dependem do tipo de agregado leve utilizado na mistura.

Bremner (1998) afirma que quando se utiliza agregado expandido entre 40% e 50%, a resistência do concreto cai rapidamente, portanto só se justifica utilizar valores de expansão do concreto que causem uma porosidade maior se for com finalidade de isolamento, sem função estrutural.

Agregados leves com partículas graúdas podem interferir na resistência do concreto, pois estas fraturam mais facilmente com a ação da carga (Bremner; Holm, 1986 apud Neville, 1997). Logo, para melhorar a resistência, Neville (1997)

aconselha usar agregados com menores dimensões máximas, pois se elimina a possibilidade da fragmentação das partículas e aumenta a massa unitária do concreto.

A água absorvida pelo grão não interfere na resistência do concreto, pois esta água não provocará vazios. Consequentemente, não se deve determinar a relação água/cimento com base na água total e é impraticável a determinação da quantidade de água livre em concretos leves (Neville, 1997).

- **Desempenho estrutural**

Bremner (1981) apud Bremner (1998) afirma que o concreto leve apresenta um bom desempenho como material estrutural devido à boa aderência entre os agregados e a matriz da pasta de cimento. Também é importante o fato de não haver concentração de tensões diferenciais nesta região de interface pasta-agregado leve.

Neville (1997) afirma que a boa aderência pode ser justificada pela superfície áspera de certos agregados leves que provoca um melhor intertravamento mecânico entre as partículas e a pasta. A presença da água absorvida pelo agregado também contribui para essa aderência, pois ela proporcionará a hidratação do cimento anidro remanescente. Esse fenômeno ocorre exatamente na interface agregado-pasta, o que resulta no fortalecimento da região.

A ausência de concentração de tensões diferenciais, provocadas por cargas ou por variações térmicas ou higroscópicas na interface agregado-pasta, pode ser explicada pela característica semelhante entre a rigidez da matriz da pasta de cimento e das partículas de agregado do concreto leve. Isto não ocorre nos concretos comuns, pois como estes usam agregados mais rígidos e fortes do que a pasta de cimento, há na interface agregado-pasta altas concentrações de tensões (Bremner, 1981 apud Bremner, 1998); (Neville, 1997).

- **Durabilidade**

O uso de agregados leves nos concretos não afeta a durabilidade dos mesmos, salvo quando os agregados naturais são submetidos a congelamento e degelo (Neville, 1997).

A permeabilidade dos concretos leves não é afetada pela sua alta porosidade, pois normalmente os poros não são interligados. Na verdade, a permeabilidade está

relacionada com a pasta endurecida. Entretanto, quando se substitui parte do agregado leve miúdo por agregado leve normal verifica-se uma redução na permeabilidade, provavelmente causada pela diminuição da relação água/cimento (Zhang; Gjorv, 1991 apud Neville, 1997).

O que pode causar a deterioração do concreto leve são as situações de congelamento e degelo, quando estes forem submetidos à saturação antes da mistura (ACI 201.2R-92 apud Neville, 1997).

Vale a pena ressaltar que os poros existentes nos agregados leves conduzem à propagação do CO<sub>2</sub> e, por conseguinte, facilitam o fenômeno da carbonatação. Apesar disso, não existem muitos registros de casos de corrosão de armadura por este motivo nos concretos leves de boa qualidade (Mays; Barnes, 1991 apud Neville, 1997). Mesmo assim, os autores sugerem que se faça um cobrimento maior para proteger a armadura.

Nos concretos com agregados leves ocorre também uma maior movimentação de umidade comparado ao que ocorre nos concretos comuns. Esse fenômeno pode causar fissuras por retração, já que o concreto leve não apresenta boa resistência à tração. O fato do agregado leve possuir baixo módulo de elasticidade, de certa forma compensa a possibilidade de surgimento das fissuras de retração, pelo fato do agregado leve restringir menos a retração e a fluência da pasta de cimento (Karl, 1989 apud Neville, 1997).

- Propriedades acústicas e térmicas

O concreto leve possui coeficiente de absorção acústica em média duas vezes maior do que a dos concretos normais. Esta boa absorção acústica é devido a propagação da energia sonora pelo ar que se transforma em calor nos minúsculos poros do agregado. Para obter melhores resultados, com o objetivo de refletir o som, deve-se revestir a superfície (Neville, 1997).

Quanto às propriedades de isolamento acústica, estes não possuem bom desempenho, devido à baixa massa específica do material.

O concreto leve possui baixa condutividade térmica devido a existência de vazios na sua estrutura. Isto lhe garante uma menor perda de calor para o meio ambiente quando em concretagens de grandes massas, comparado aos concretos

normais (Neville, 1997). Além disso, esta característica do concreto leve permite o controle do aumento da temperatura da armadura em caso de incêndio. Por outro lado, o baixo coeficiente de dilatação térmica do concreto leve apresenta-se como algo benéfico quando exposto à ação do fogo. Pelo fato de alguns tipos de agregados leves terem sido processados a uma temperatura acima de  $1100^{\circ}\text{C}$ , isto garante a sua estabilidade quando sujeito à altas temperaturas durante um incêndio (Holm, 1994 apud Neville, 1997).

### **2.5.7 Concreto sem finos**

Este tipo de concreto é constituído somente por aglomerante, agregado graúdo e água. Portanto, o agregado miúdo não faz parte de sua composição, o que o caracteriza por apresentar grandes vazios e, conseqüentemente, possuir baixas resistências.

Este tipo de concreto tem sido utilizado principalmente em muros, painéis de enchimento, estruturas de drenagem e sub-base em estacionamentos domésticos.

Apresenta resistência à compressão geralmente entre 1,5MPa e 14MPa, dependendo da massa unitária que, por sua vez, está relacionada ao teor de cimento e à granulometria do agregado (McIntosh et al., 1956 apud Neville, 1997).

Possui pouquíssima coesão, portanto, deve-se ter o cuidado para esperar o tempo necessário para que o material torne-se firme o suficiente para se fazer a desforma. Outro cuidado é com a cura, devido à pequena espessura da pasta de cimento (Malhotra, 1976 apud Neville, 1997).

Este mesmo autor afirma que a resistência à tração na flexão dos concretos sem finos é geralmente 30% da resistência à compressão, portanto, relativamente maior que a do concreto normal.

### **2.5.8 Concreto celular**

É o concreto em que se introduz vazios no interior da pasta de cimento ou da argamassa endurecida. Neste tipo de concreto, não há agregado graúdo, portanto

muitos autores criticam o uso do termo concreto para estes. Também pode não conter nenhum tipo de agregado, por exemplo, quando aplicado como isolante térmico.

Os vazios no concreto podem ser obtidos através de ar ou gás. O ar pode ser injetado mecanicamente dentro da massa (SENAI, 1976 apud Garlet, 1998) ou produzida pela adição de espuma pré-fabricada. O gás é obtido através de reações químicas que ocorrem durante o estado líquido ou plástico da massa. Normalmente utiliza-se como agente o pó de alumínio (Neville, 1997).

Apresenta resistência à compressão geralmente entre 3MPa e 6MPa que é função da massa unitária do concreto. Sua principal propriedade, que justifica sua aplicação, é a alta capacidade de isolamento térmico (SENAI, 1976 apud Garlet, 1998). É um concreto que sofre grande retração e possui alta permeabilidade, entre  $10^{-6}$  m/s e  $10^{-10}$  m/s (Neville, 1997).

Segundo este mesmo autor, as principais aplicações deste concreto são: elementos isolantes térmicos, blocos de alvenaria de vedação, forro e preenchimento de valas.

## **2.6 O EVA (ethylene vinyl acetate) e seus Compostos**

### **2.6.1 Generalidades**

A resina de EVA é o elemento mais importante da formulação, contém acetato de vinila que é dosado de acordo com as características desejadas do composto de EVA.

Para se obter o copolímero EVA faz-se a copolimerização via radicais livres do monômero de etileno com o monômero de acetado de vinila em um sistema de alta pressão.

A obtenção do copolímero EVA ocorreu pela primeira vez em 1938 de forma experimental. Porém, apenas em meados da década de 60 surgiram as primeiras plantas produtoras de EVA.

Sua utilização na indústria de calçados ocorreu a partir da década de 70 quando, através de sua expansão verificou-se excelentes propriedades na produção de

sandálias de praia, que lhe garantiram vantagens técnicas em relação às outras sandálias até então produzidas em borrachas. Dentre tais vantagens, pode-se citar: menor densidade, maior durabilidade, fácil processabilidade, custo compatível e menor encolhimento.

Atualmente a principal aplicação do EVA é na produção de chapas reticuladas e expandidas para obtenção dos mais diversos tipos de calçados, como tênis (palmilhas e entressolas), sandálias termoformadas (palmilhas, solados e entressolas), sapatos casuais (solados e enchimento), etc.

Além do uso na indústria de calçados, o EVA também é aplicado em vários outros setores industriais, graças a diversificação na processabilidade do produto. Garlet (1998) enumera algumas das principais aplicações deste material:

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

### 2.6.2 Propriedades principais

O que define as propriedades do EVA na utilização em compostos expandidos são:

- teor de acetato de vinila (%) : se o teor de acetato de vinila for baixo, o EVA apresenta propriedades similares ao polietileno de baixa densidade e a medida que se aumenta esses teores suas propriedades tornam-se mais próximas à borracha ou PVC plastificado (Prezotto et al., 1990 apud Garlet, 1998). Normalmente o teor de acetato de vinila utilizado em placas expandidas na produção de solados está entre 18 e 28%;
- índice de fluidez (g/10min) : esse índice deve estar próximo a 3,0g/10min para se obter um expandido de EVA com boa processabilidade e alta versatilidade.

### 2.6.3 O EVA na indústria calçadista

Como mencionado anteriormente, o EVA é utilizado nas placas expandidas. Estas são recortadas em máquinas especiais para a obtenção dos solados e palmilhas.

#### 2.6.3.1 As matérias-primas utilizadas em uma composição de EVA

Conforme o Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins – CTCCA (1993) apud Garlet (1998), o composto de EVA é constituído pelos seguintes elementos: copolímero de EVA; ativadores; cargas; auxiliares de processo; agente de reticulação; agente de expansão e outros polímeros.

- Copolímero de EVA

Normalmente se utilizam nas placas expandidas copolímero com teor de 18 a 19% de acetato de vinila, porém pode-se, para algumas aplicações, produzir expandidos a partir de EVA de 28% ou EVA de 9%, conforme as propriedades especificadas.

Conforme se aumenta o teor de acetato de vinila contido no copolímero de EVA, aumenta-se a elasticidade, a adesividade, a flexibilidade e a densidade, e diminui-se a dureza e o ponto de amolecimento.

- Ativadores

Os ativadores entram na composição com a finalidade de reduzirem a temperatura de decomposição do esponjante e, assim, torná-la compatível com a temperatura de reticulação da placa de EVA.

Existem muitos tipos de ativadores, por exemplo, o ZnO, glicóis, estearatos metálicos, etc.

- Cargas

As cargas entram na composição com a finalidade de reduzirem o custo da composição. Vale ressaltar que conforme o tipo e quantidade tem-se uma variação na qualidade do produto.

São exemplos de cargas: o negro de fumo, o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e a sílica ( $\text{SiO}_2$ ).

- Auxiliares de processo

São usados para auxiliar, isto é, interferir de forma positiva, dando condições de execução ao processo.

Os lubrificantes são exemplos de auxiliares de processo e estão presentes em quase todas as composições. De uma forma geral, os lubrificantes proporcionam: melhor dispersabilidade dos produtos, melhor desmoldagem, economia de energia durante a mistura, redução de dureza e redução do tempo de mistura.

- Agente de reticulação

O peróxido é o produto utilizado para fazer a reticulação do copolímero de EVA.

Normalmente são utilizados peróxidos de dicumila ou peróxidos de 1,3 bisterc-butil isopropil benzeno.

- Agente de expansão

O esponjante normalmente utilizado em EVA é o Azodicarbonamida (Expancel AZ). Durante a decomposição deste produto ocorre a liberação de gás em volume aproximado de 300 ml/g, sendo este, basicamente, o nitrogênio.

Porém, quando se precisa obter calçados de coloração branca, não se pode usar o Expancel AZ, por ser amarelo. Nestes casos, existe no mercado o P-Toluemo Sulfonyl Semi Carbazida, que é de coloração branca.

- Outros polímeros

Faz-se a mistura do EVA com elastômero ou com PEBD (polietileno de baixa densidade) para se obter propriedades específicas. Dentre os elastômeros mais utilizados estão: o natural, o EPDM, o nbr, o BR, o SBR e outros.

### 2.6.3.2 O processamento de fabricação das placas expandidas de EVA

De uma forma geral, o processamento segue as seguintes etapas:

- pesagem – etapa importante no processo, em que cada matéria-prima deve ser pesada na quantidade certa para obtenção da mistura. Qualquer erro de pesagem pode comprometer todo o processo;
- mistura – o processo de mistura das matérias-primas é realizado em máquinas especiais, de preferência tipo bambury e com temperatura inicial de aproximadamente 85°C, e final com aproximadamente 105°C;
- calandragem – passa-se a massa através de rolos. Tem como objetivo laminar a massa na espessura desejada, deixar a superfície homogênea e lisa, além de evitar possíveis retenções de ar. Após o processo de calandragem, a massa é resfriada, cortada em dimensões pré-determinadas e levada para o molde;
- prensagem e expansão das lâminas – deve-se fazer a prensagem com cuidado para que a placa expandida não sofra oscilações de qualidade. É importante controlar a pressão interna do molde, a temperatura de prensagem e o tempo de desmoldagem das placas expandidas;
- acabamentos finais – faz-se o corte nas placas, conforme detalhe do produto, e o lixamento na superfície da placa expandida.

### 2.6.3.3 O resíduo de EVA

A indústria de calçados gera resíduos durante o processo de fabricação das placas expandidas e durante o processo de fabricação do calçado. Os resíduos gerados durante a fabricação das placas são em forma de aparas, surgidas após o processo de expansão das placas, e em forma de pó, que surge durante o lixamento das placas. Esses resíduos são os mais facilmente aproveitados pelas indústrias e podem servir como cargas de volta ao processo de fabricação das placas (Garlet, 1998).

Durante a fabricação do calçado, geram-se resíduos de retalhos (sobras) inevitáveis das placas expandidas oriundos do processo de obtenção dos formatos dos calçados (corte) e possíveis refugos de solado, entressola ou palmilha do

calçados e os resíduos em forma de pó oriundo do lixamento do calçado na fase de acabamento.

Esse pó também é relativamente fácil de processar. Porém, os resíduos das sobras das placas expandidas que surgem do processo de corte na fabricação do calçado são os de maior volume e o mecanismo de reaproveitamento exige alguns cuidados especiais, tais como: não usar recuperado de diferentes níveis de reticulação, pois irá gerar oscilação de qualidade nas placas expandidas; evitar retalhos que tenham excesso de silicone; eliminar todo gás existente no material a ser recuperado. Além disto, este processo de reciclagem é lento (Figura 2.1) e existe limitação técnica, quanto a quantidade de resíduos que se pode incorporar ao processo, sem comprometer a qualidade do produto. Portanto o volume de resíduo reaproveitado na própria indústria é bem menor (não mais que 40%) do que o volume por ela gerado.

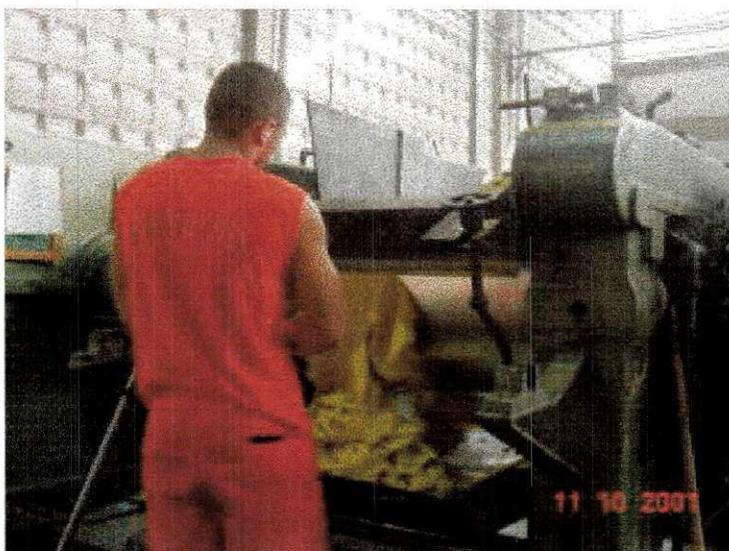


FIGURA 2.1 – Detalhe de uma etapa do processo de reciclagem na indústria de calçado.

Este volume excedente e crescente de resíduos tem-se tornado um grande problema para as indústrias na hora de dar um destino final para eles. A deposição em aterros sanitários desses resíduos sintéticos representa sérias implicações, causadas pela baixa velocidade de degradação (não é biodegradável) e a possibilidade de provocar severas contaminações ao meio ambiente. Por razões

ambientais, a incineração desses resíduos também não é recomendada devido à geração de gases tóxicos.

Garlet (1998) afirma que muitas indústrias o depositam em áreas a céu aberto, e isto causa vários problemas ambientais, como poluição visual, proliferação de insetos e pequenos animais, além de existir uma ameaça constante de combustão do material. Segundo este mesmo autor, algumas indústrias vêm jogando esses resíduos em depósitos clandestinos, escondidos em locais de difícil acesso para fugir das fiscalizações dos órgãos competentes, e sem tomar nenhum tipo de cuidado.

A falha na fiscalização ambiental tem contribuído para esse tipo de comportamento das indústrias, sobretudo aquelas que geram grandes volumes de resíduos.

Algumas empresas estocam seus resíduos em galpões (Figura 2.2), porém chega um momento que o volume de resíduo ultrapassa a capacidade de armazenamento e passam a ser colocados nos pátios, que também tem área limitada. Portanto é um problema de gravidade crescente.



FIGURA 2.2 – Resíduos da indústria de calçados, ensacados e estocados em galpão.

Algumas indústrias estão negociando seus resíduos com as indústrias de cimento, na tentativa de livrar-se de seus resíduos. As indústrias cimenteiras

aproveitam o potencial combustível deste resíduo para alimentar os fornos rotativos na fabricação do clínquer.

Porém a colocação desse tipo de resíduo e de outros tipos de resíduos combustíveis ricos em enxofre no forno rotativo nas indústrias cimenteiras, que vem ocorrendo desde a década de 80 do século passado (século XX), tem aumentado de forma despercebida o teor de sulfato na produção do clínquer dos cimentos Portland (aglomerante hidráulico muito utilizado na construção civil). A deterioração dos concretos estruturais tem crescido nos últimos tempos e uma das causas é devido à formação retardada de produtos expansivos (etringita secundária) no concreto endurecido, que está diretamente relacionada a esse aumento do teor de sulfato nos aglomerantes e na microestrutura dos concretos de cimento Portland (Collepari, 1999).

É claro que esse tipo de deterioração também está associado à exposição ao ambiente úmido e ao aumento da microfissuração das estruturas de concreto, situações muito comuns de ocorrer nas obras. Portanto, essa alternativa de reciclagem, ou melhor, aproveitamento do resíduo da indústria de calçado como combustível pelas indústrias que produzem cimento Portland deve ser repensado e cabe o alerta que se deve buscar formas seguras de reaproveitamento dos resíduos e não a simples transferência dos problemas causados por eles de um local para outro.

Portanto, é pertinente estudar mais opções de reciclagem para os resíduos da indústria de calçados, principalmente para aqueles do tipo retalho ou refugos (devido ao maior volume gerado e mais complicado de ser reaproveitado no processo industrial). Para isso, é importante que se faça sempre avaliações responsáveis dos impactos causados na outra ponta do processo. O ideal é que esses impactos sejam benéficos, o que dará confiabilidade e segurança no tratamento da reciclagem.

Esta pesquisa estuda a reciclagem do resíduo de EVA gerado na fabricação de calçados (sandálias), incorporando-o ao concreto na obtenção de blocos de vedação. Dessa forma, busca-se ampliar as opções para a reciclagem desse tipo de resíduo.

As propriedades técnicas dos componentes produzidos com agregados leves de EVA mostram que há melhoria do conforto térmico nas edificações, que é algo bem vindo nas regiões de temperaturas altas. Além disso, por serem componentes mais leves garantem um alívio de carga na estrutura dos edifícios e podem

representar uma maior produtividade no fechamento de painéis de paredes, considerando que poderão ser utilizados elementos (blocos de vedação) com maior dimensão.

Concretos produzidos com agregados poliméricos apresentam consumo de cimento maior se comparado ao concreto convencional, justificando, mesmo assim sua aplicabilidade, quando se pretende tirar proveito de suas propriedades (Garlet; Greven, 1996).

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Os resíduos de EVA foram coletados no pátio e galpão de estocagem da indústria e levados para o laboratório. Em seguida foram triturados em um moinho de facas rotativas para obtenção de agregado artificial em 3 granulometrias pré-definidas em função do diâmetro máximo da partícula (4,8mm, 9,5mm e 12,5mm).

Através de uma avaliação para se obter a granulometria mais adequada, levando em conta as propriedades do compósito no estado fresco e endurecido, foi também avaliado o efeito do tratamento térmico ( $T_{\text{máx}}=100^{\circ}\text{C}$  para promover a eliminação de gases) no resíduo. Sabe-se que tal tratamento térmico altera a granulometria e o grau de absorção de água do agregado e, conseqüentemente, as propriedades no estado endurecido dos compósitos leves.

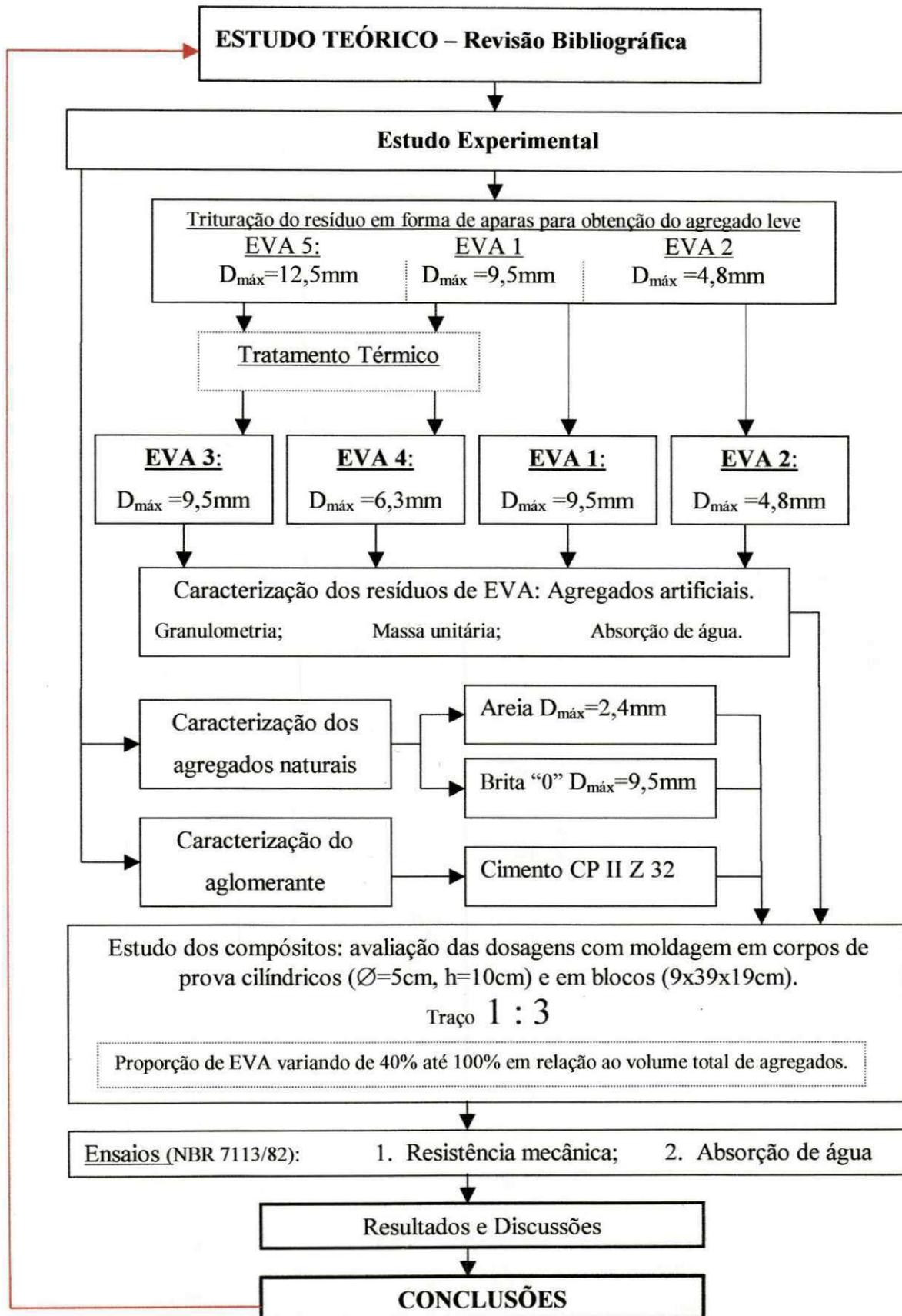
Caracterizou-se o resíduo de EVA através de análise física (massa unitária, granulometria, absorção de água 24horas).

A partir dos dados publicados na literatura (Garlet, 1998) avaliou-se a moldagem com traço: 1:3 (cimento: agregados, em volume). Por se tratar de um estudo exploratório de traços, fez-se uma vasta variação de porcentagem de agregado de EVA na mistura, com teores de 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 100% de agregado de EVA presente no volume total dos agregados (natural + artificial).

Nas análises das propriedades dos compósitos no estado fresco e endurecido em uma pesquisa básica são relevantes os seguintes ensaios: trabalhabilidade, resistência à compressão axial, massa unitária, absorção de água.

Para realização dos ensaios mecânicos foram moldados seis corpos-de-prova cilíndricos ( $\varnothing=5\text{cm}$  e  $h=10\text{cm}$ ) e seis blocos ( $9\times 39\times 19\text{cm}$ ) para cada idade de controle e para todos os teores de EVA (40% até 100%). As idades de controle foram 7 dias e 28 dias. Foram moldados mais três blocos, para cada traço, para a realização do ensaio de absorção de água. Portanto, foram ao todo 396 (trezentos e noventa e seis) corpos-de-prova cilíndricos e 495 (quatrocentos e noventa e cinco) blocos. Apresenta-se na Figura 3.1 um esquema com a metodologia adotada na pesquisa.

FIGURA 3.1 – Quadro esquemático da metodologia adotada.



### 3.1 Caracterização dos Materiais

#### 3.1.1 Agregado miúdo (agregado natural)

A areia quartozosa utilizada na pesquisa foi extraída do leito do rio Paraíba, de uso corrente nas obras de concreto da região.

##### 3.1.1.1 Ensaio realizados

As realizações dos ensaios de caracterização da areia seguiram os procedimentos da ABNT, conforme as normas especificadas na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 – Ensaio de caracterização da areia e suas respectivas normas.

Determinação da massa específica	NBR 9776
Determinação da massa unitária – estado solto	NBR 7251
Determinação da massa unitária – estado compactado	NBR 7810
Determinação do teor de argila em torrões	NBR 7218
Determinação do teor de materiais pulverulentos	NBR 7129
Determinação da composição granulométrica	NBR 7217

#### 3.1.2 Agregado graúdo (agregado natural)

O agregado graúdo utilizado foi uma brita granítica de graduação “0”,  $D_{\text{máx}}=9,5\text{mm}$ .

##### 3.1.2.1 Ensaio realizados

As realizações dos ensaios de caracterização da brita “0” seguiram os procedimentos da ABNT, conforme as normas especificadas na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 – Ensaio de caracterização da brita e suas respectivas normas.

Determinação da massa específica e absorção	NBR 9937
Determinação da massa unitária – estado solto	NBR 7251
Determinação da massa unitária – estado compactado	NBR 7810
Determinação da composição granulométrica	NBR 7217

### 3.1.3 Agregado de EVA (agregado artificial)

Os retalhos das placas e refugos de placas e solas (Figura 3.2) foram triturados obtendo-se três granulometrias diferentes de agregados leves. Para isso fez-se à variação das malhas das peneiras (Figura 3.3) colocadas na saída do moinho granulador (Figura 3.4). Na Tabela 3.3, pode-se verificar para cada peneira utilizada, qual a granulometria obtida no agregado e qual a sua produção.



FIGURA 3.2 – Detalhe dos retalhos das placas e refugos de placas e solas.

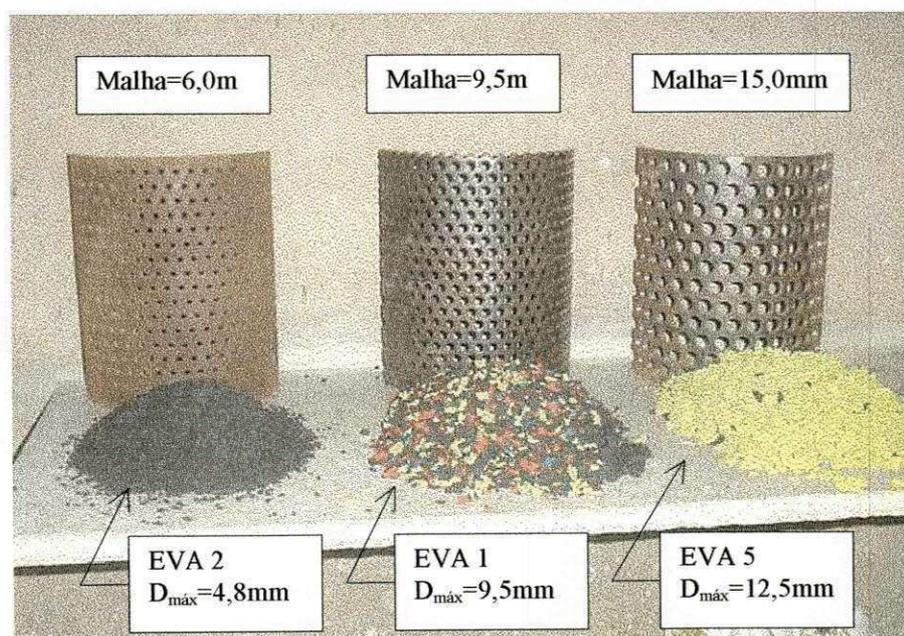


FIGURA 3.3 – Detalhe das malhas das peneiras e dos grãos do agregado de EVA.

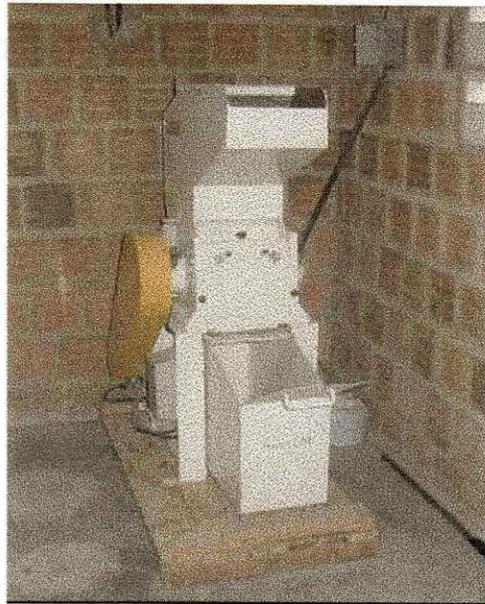


FIGURA 3.4 – Moinho granulador.

TABELA 3.3 – Malhas das peneiras utilizadas no moinho com as respectivas dimensões máximas dos agregados obtidos e produção.

Malha da Peneira (mm)	$D_{m\acute{a}x}$ do Agregado (mm)	Produção de Agregado	
		( $dm^3/h$ )	(kg/h)
15,0	12,5	380	45
9,5	9,5	190	25
6,0	4,8	70	10

Destes agregados, trabalhou-se com os agregados com  $D_{m\acute{a}x}=9,5\text{mm}$  e  $4,8\text{mm}$  (sem tratamento térmico), e fez-se um tratamento térmico nos agregados com  $D_{m\acute{a}x}=12,5\text{mm}$  e  $9,5\text{mm}$ , originando agregados com  $D_{m\acute{a}x}=9,5\text{mm}$  e  $6,3\text{mm}$ , respectivamente. Têm-se assim, quatro amostras de agregados de EVA utilizadas na produção dos concretos analisados na pesquisa, conforme Tabela 3.4.

TABELA 3.4 – Amostras de agregados de EVA utilizadas na pesquisa.

<b>EVA 1</b>	Agregado moído com $D_{m\acute{a}x}=9,5\text{mm}$ .
<b>EVA 2</b>	Agregado moído com $D_{m\acute{a}x}=4,8\text{mm}$
<b>EVA 3</b>	Agregado moído com $D_{m\acute{a}x}=12,5\text{mm}$ , passando por um tratamento térmico, ficando com $D_{m\acute{a}x}=9,5\text{mm}$ .
<b>EVA 4</b>	Agregado moído com $D_{m\acute{a}x}=9,5\text{mm}$ , passando por um tratamento térmico, ficando com $D_{m\acute{a}x}=6,3\text{mm}$ .

O tratamento térmico dado ao agregado de EVA seguiu o mesmo procedimento aplicado por Garlet (1998). Consiste na colocação do agregado de

EVA em um recipiente contendo água com 100°C por um período de 30 min. Com isto, ocorre a expulsão dos gases expansivos presentes no agregado de EVA, fazendo com que ocorra uma retração das partículas, deixando-as mais densas. Desta maneira está-se melhorando as condições do agregado leve, no que se refere à sua granulometria e densidade, que são as duas principais características que afetam o comportamento físico e mecânico nos concretos leves (CEB / FIB, 1977 apud Garlet, 1998).

Não se utilizou o agregado com  $D_{\max}=12,5\text{mm}$  (sem tratamento térmico) por possuir granulometria imprópria para a espessura das paredes dos blocos aqui moldados. Também não foi feito tratamento térmico do agregado EVA 2, pois teria um tratamento oneroso, devido ao custo maior no processo de se triturar nesta granulometria, pois sua produção é consideravelmente mais lenta que às outras duas granulometrias (Tabela 3.4), além do posterior tratamento térmico.

### 3.1.3.1 Ensaios realizados

As cinco amostras de agregado de EVA foram submetidas aos seguintes ensaios de caracterização, conforme especificados na Tabela 3.5.

TABELA 3.5 – Ensaios de caracterização do agregado de EVA (agregado artificial) e as respectivas normas obedecidas.

Determinação da massa unitária – estado solto	Mesmo procedimento aplicado ao cascalho (NBR 7251)
Determinação da composição granulométrica	Mesmo procedimento aplicado aos agregados naturais (NBR 7217)
Determinação da absorção de água	Adaptação do procedimento aplicado ao poliestireno expandido para fins de isolamento térmica (NBR 7973).

A determinação da absorção em agregados graúdos naturais normalmente utilizados em concretos é obtida através do método proposto pela NBR 9937. Porém, torna-se complicado se aplicar tal procedimento ao agregado EVA. Por exemplo, quando a norma estabelece que se deve eliminar as películas visíveis de água da superfície utilizando um pano absorvente, pode ocorrer perda da água dos poros mais superficiais do material, devido sua característica esponjosa, além da possibilidade

das partículas mais finas aderirem-se ao pano. Portanto, determinou-se a taxa de absorção fazendo uma adaptação da norma que determina a absorção de água para poliestireno expandido para fins de isolamento térmica – NBR 7973. O ensaio foi constituído de 3 amostras compostas conforme  $D_{\text{máx}}$  do agregado (Tabela 3.6) e realizado como descrito a seguir:

TABELA 3.6 – Faixa granulométrica das amostras de agregado de EVA para ensaio de absorção de água.

$D_{\text{máx}}$	Amostra
12,5mm	Material retido na peneira 2,4mm
9,5mm	Material retido na peneira 2,4mm
6,3mm	Material retido na peneira 1,2mm
4,8mm	Material retido na peneira 1,2mm

Deixou-se a amostra em ambiente por no mínimo 24h à temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $50 \pm 5\%$  de umidade relativa. Pesou-se 50g da amostra ( $M_s$ ).

Colocou-se a amostra no cesto formado por duas peneiras de malha 0,075mm e a imergiu sob uma coluna de água de  $50 \pm 1\text{mm}$  pelo período de 5min. Passado este período, retirou-se a amostra do recipiente, colocando em uma tela com malha de 0,075mm ao ar livre no ambiente controlado por um período de  $15 \pm 1\text{min}$ , para drenagem da água excessiva da superfície. A seguir, pesou-se a amostra e anotou-se como  $M_{\text{sat}(5\text{min})}$ . Retornou a amostra para o cesto, imergindo novamente em água repetindo-se o mesmo procedimento para os seguintes períodos totais de imersão: 10min; 20min; 30min; 60min; 24h. Anotou-se as respectivas  $M_{\text{sat}}$  : ( $M_{\text{sat}(10\text{min})}$ ;  $M_{\text{sat}(20\text{min})}$ ;  $M_{\text{sat}(30\text{min})}$ ;  $M_{\text{sat}(60\text{min})}$ ;  $M_{\text{sat}(120\text{min})}$  e  $M_{\text{sat}(24\text{h})}$ ).

Obteve-se então o resultado através da média das três amostras:

$$\text{Absorção} = \left( \frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_s} \right) \cdot 100$$

Onde:  $M_{\text{sat}}$  = massa da amostra saturada para cada período (gramas)

$M_s$  = massa da amostra seca (gramas).

Finalmente traçou-se o gráfico (Tempo x Absorção) com as médias obtidas.

### 3.1.4 Cimento

Optou-se pelo cimento tipo CII Z-32, por ser o aglomerante mais utilizado nas obras da região. Nas Tabelas 3.7 e 3.8 são apresentadas suas principais características físicas e químicas, fornecidas pelo fabricante. Tem-se uma comparação com os limites admitidos por normas.

TABELA 3.7 – Características físicas do cimento.

Ensaio Físicos	Norma ABNT	Especificações	Resultados
Finura Malha nº 200 (%)	NBR 11579/91	≤ 12,0	3,8
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM 23/01	-	2,94
Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )		-	1,166
Área Esp.(Blaine) (cm <sup>2</sup> /g)	NBR NM 76/98	≥ 2600	3845
Início de Pega (h:min)	NBR 11581/91	≥ 1:00	2:39
Fim de Pega (h:min)	NBR 11581/91	≤ 10:00	5:10
Expansibilidade à quente	NBR 11582/91	≤ 5,0	0,1
Resistência 1dia (MPa)	NBR 7215/96	nd	10,2
Resistência 3dias (MPa)	NBR 7215/96	≥ 10	22,1
Resistência 7dias (MPa)	NBR 7215/96	≥ 20	28,7
Resistência 28dias (MPa)	NBR 7215/96	≥ 32	35,3

Fonte: CIMEPAR - Companhia Paraibana de Cimento Portland.

TABELA 3.8 – Composição química do cimento.

Ensaio Químicos	Norma ABNT	Especificações	Resultados
Perda ao Fogo (%)	NBR 5743/89	≤ 6,5	6,14
Dióxido de Silício – SiO <sub>2</sub> (%)	NBR 9203/85	-	21,19
Óxido de Alumínio – Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	NBR 9203/85	-	7,12
Óxido de Ferro – Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	NBR 9203/85	-	2,17
Óxido de Cálcio – CaO (%)	NBR 9203/85	-	27,30
Óxido de Magnésio – MgO (%)	NBR 9203/85	≤ 6,5	4,69
Anidrido Sulfúrico – SO <sub>3</sub> (%)	NBR 5745/89	≤ 4,0	2,35
Anidrido Carbônico – CO <sub>2</sub> (%)	NBR 11583/90	≤ 5,0	-
Óxido de Cálcio Livre - CaO Livre	NBR 7227/90	-	1,24
Resíduo Insolúvel (%)	NBR 5744/89	≤ 16,0	8,05

Fonte: CIMEPAR - Companhia Paraibana de Cimento Portland.

### **3.1.5 Água de amassamento**

A água de amassamento utilizada na pesquisa é proveniente do açude Boqueirão (cidade Boqueirão-PB) fornecida pelo abastecimento público, sendo então dispensado o controle de aceitação.

## **3.2 Preparação dos Compósitos**

### **3.2.1 Composição do traço adotado**

Foi utilizado o traço 1:3 (cimento: agregados, em volume). Para cada traço fez-se variações em 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 100% nos teores de agregado de EVA presente no volume total dos agregados, sendo utilizado agregados de EVA sem e com o tratamento térmico.

A escolha desse traço tem como objetivo obter resistência mínima que garanta condições de manuseio e aplicação dos blocos de vedação, considerando também os níveis de absorção de água compatíveis com os estabelecidos pela norma. Porém, outros traços mais pobres em teor de aglomerante podem ser escolhidos, quando não se tem necessidade de se obter tais resistências, por exemplo, 1:5, como sugerido por Garlet (1998) ao ser aplicado como enchimento ou camada de isolante térmico.

Portanto, é fundamental se saber antes qual a finalidade da aplicação para se escolher o traço que se deve aplicar. Vale ressaltar que traços com menor consumo de cimento, por exemplo, 1:7 não devem ser utilizados, pois apresentam propriedades físicas e mecânicas inadequadas para qualquer finalidade (Garlet, 1998).

### **3.2.2 Pré-molhagem do agregado de EVA**

Por se tratar de uma material de baixa densidade e com característica esponjosa, ao entrar em contato com a água da mistura, ele tende a absorver uma

certa quantidade de água e isto irá prejudicar a trabalhabilidade da mistura e, até mesmo, poderá acarretar em uma redução de água disponível para reagir com o cimento. Por isto, o agregado de EVA foi imerso em água antes da preparação da mistura.

O agregado de EVA foi colocado em balde com água, utilizando-se uma peneira de 0,074mm como barreira para garantir sua total imersão em água, impedindo que o mesmo flutue na superfície da água (Figura 3.5).



FIGURA 3.5 – Detalhe do recipiente usado na pré-molhagem do agregado de EVA, utilizando-se uma peneira para impedir a ascensão do agregado.

O tempo de imersão foi determinado em 60 minutos, o qual foi o suficiente para se garantir um bom umedecimento do agregado. Para evitar dúvida sobre a quantidade de água existente na mistura, decidiu-se medir a quantidade de água que o agregado leve continha devido à pré-molhagem. Para isso fez-se o seguinte procedimento:

- 1 - colocou-se a quantidade em massa (conforme traço desejado) de agregado de EVA em um balde;
- 2 – pesou-se o conjunto agregado seco + balde;
- 3 – deixou-se a amostra imersa em água durante 60 minutos;
- 4 – retirou-se a água não absorvida pelo agregado com o uso da peneira impedindo a saída do agregado;
- 5 – pesou-se o conjunto agregado + balde + água absorvida;

6 –finalmente, pela diferença, determinou-se a quantidade de água que o agregado de EVA continha.

Assim, completou-se, durante o processo de mistura na betoneira, a quantidade de água até atingir o fator a/c adequado para moldagem dos blocos. Portanto, o fator a/c aqui estabelecido é composto pela água pré-absorvida pelo agregado EVA e pela água acrescentada à mistura.

Este procedimento garantiu obter-se um maior controle sobre a quantidade de água que se estava utilizando durante todos os ensaios.

### 3.2.3 Mistura

A mistura foi executada em uma betoneira com capacidade para 120 litros e de eixo inclinado. A ordem de colocação dos materiais obedeceu ao que foi proposto por Garlet (1998), pois apresentou uma boa homogeneização dos componentes. Além do mais, a colocação do cimento após o agregado de EVA (com certa umidade) garante o envolvimento deste pelo cimento, transformando-o em pelotas, evitando assim que o agregado de EVA fique boiando dentro da betoneira.

Esta foi a ordem de colocação dos componentes na betoneira:

- colocou-se o agregado de EVA, adicionando-se 1/3 da água de amassamento. Ligou-se a betoneira, esperando cerca de um minuto para uma adicional absorção de água pelo agregado;
- com a cuba em movimento adicionou-se o cimento, esperando agora dois minutos;
- adicionou-se a areia e o restante da água, esperando mais três minutos.

Quando o traço era composto com cascalho, este foi acrescentado na mistura logo após o agregado de EVA.

Sempre se fez uma molhagem nas paredes internas da betoneira para evitar que parte da água de amassamento fosse “sugada” pela parede da betoneira. Por se tratar de uma mistura que tem um baixo fator a/c e, portanto, pouca quantidade de água, qualquer perda no volume de água poderia ocasionar grande prejuízo na trabalhabilidade e resultados posteriores.

### 3.2.4 Moldagem de corpos-de-prova cilíndricos

Para moldagem dos corpos-de-prova (Figura 3.6) foram utilizados moldes cilíndricos de metal não corrosivo. Suas dimensões básicas são:

- a) diâmetro interno: 50mm;
- b) altura: 100mm.

A moldagem obedeceu a NBR 5738, conforme o seguinte procedimento:

- untam-se os moldes internamente com óleo mineral;
- coloca-se o concreto no molde, em três camadas com o auxílio de uma espátula, faz-se o adensamento aplicando 15 golpes por camada com um soquete metálico com diâmetro de  $\frac{1}{2}$ ”;
- faz-se o acabamento da moldagem do corpo-de-prova com uma espátula objetivando deixar a superfície exposta a mais lisa possível;
- levam-se os corpos-de-prova para a cura inicial, ainda junto com os moldes;
- após 24 horas foram desmoldados e tiveram continuidade da cura por imersão em água (cura final).

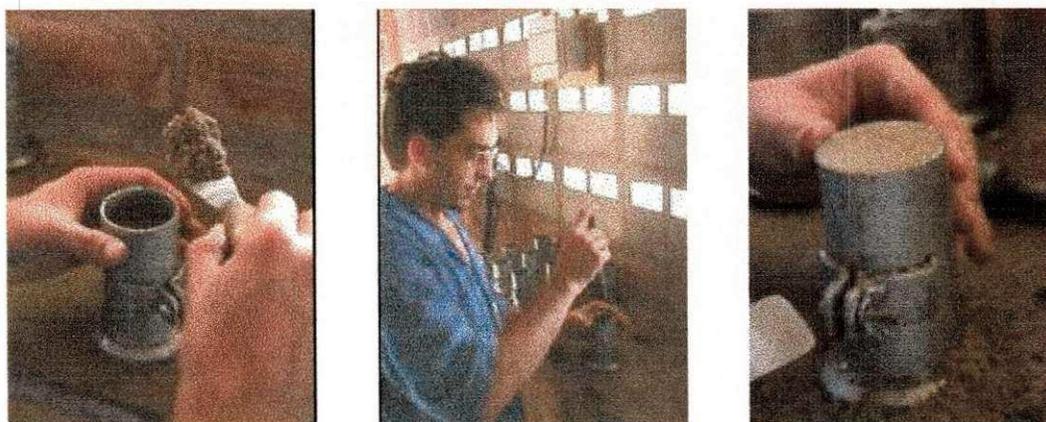


FIGURA 3.6 – Detalhe do processo de moldagem dos corpos-de-prova.

### 3.2.5 Moldagem dos blocos

Para moldagem dos blocos foi utilizada máquina da marca Atlântica Maq.

As dimensões básicas dos blocos são:

- a) 9cm (largura);
- b) 39cm (comprimento);
- c) 19cm (altura).

A moldagem (Figura 3.7) obedeceu ao seguinte procedimento:

- untam-se internamente as paredes do molde da máquina com óleo mineral;
- coloca-se o concreto no molde, com o auxílio de uma concha e liga-se a máquina que com a sua vibração, faz o adensamento;
- completa-se com concreto o molde, espera-se cerca de 40 segundos de vibração e aciona-se a alavanca da máquina, provocando a subida do molde e, conseqüentemente, a saída dos blocos;
- levam-se os blocos imediatamente para a cura inicial em câmara úmida;
- após 24 horas os blocos também seguiram para os tanques em água para continuar o regime de cura por imersão.

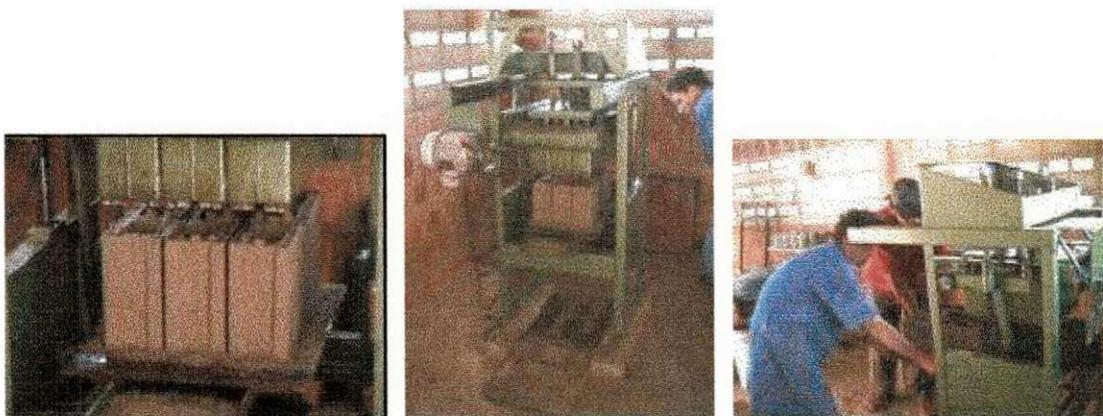


FIGURA 3.7 – Detalhe do processo de moldagem dos blocos.

### 3.2.6 Cura dos corpos-de-prova e dos blocos

Tanto os corpos-de-prova como os blocos passam por duas etapas no processo de cura: uma primeira, chamada de cura inicial e, posteriormente a cura final:

- **CURA INICIAL:** Depois de moldados, os corpos-de-prova e os blocos são imediatamente cobertos com material não reativo e não absorvente e levados para uma câmara úmida (ambiente protegido do sol e do vento), permanecendo 24h.

- CURA FINAL: os corpos-de-prova e os blocos são imersos em água saturada de cal nos tanques de cura (Figura 3.8), permanecendo o tempo pré-fixado para os ensaios.

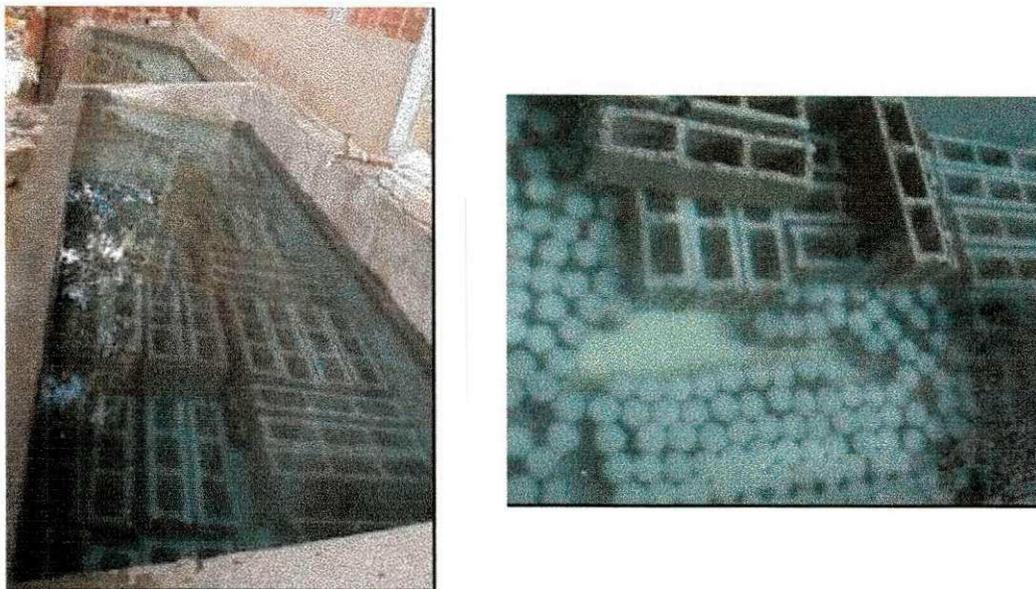


FIGURA 3.8 – Tanques de cura.

### 3.3 Caracterização do Concreto Leve

#### 3.3.1 Estado fresco

##### 3.3.1.1 Determinação da massa unitária

A massa unitária é determinada dividindo-se o peso da massa de concreto contido em um recipiente de volume conhecido, por este volume.

A massa unitária foi a média dos resultados individuais de pelo menos três determinações.

Tem-se:

$$Mu_{solto} = \frac{(Mf - Mi)}{V}$$

$Mu_{solto}$  = massa unitária do concreto no estado fresco ( $kg/dm^3$ );

$Mf$  = massa do recipiente cheio (kg);

$M_i$  = massa do recipiente vazio (kg);

$V$  = volume do recipiente ( $dm^3$ ).

### 3.3.1.2 Trabalhabilidade e consistência

A consistência do concreto fresco convencional é determinada através da medida de seu assentamento no ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme a NBR NM 67. Porém, trata-se de um método que deve ser aplicável aos concretos plásticos e coesivos que apresentem um assentamento igual ou superior a 10mm. Este método não apresenta boa aplicabilidade aos concretos leves em geral, conforme visto em 2.5.5.4., bem como o concreto com EVA. Portanto, não se conseguiu realizá-lo de forma que se garantisse confiabilidade nos resultados.

Ao tentar-se realizar o ensaio de espalhamento do tronco de cone (NBR 9606), o corpo-de-prova sofreu imediatas desagregações, pois como o concreto preparado na pesquisa é para moldagem de blocos, devendo apresentar-se com baixa relação  $a/agl$  e, portanto, não plástico, deixou as misturas com pouca coesão para realização deste ensaio.

Portanto, preferiu-se fazer análise das condições de trabalhabilidade e consistência do concreto através de observação visual durante a moldagem e eliminar os ensaios ditos convencionais.

### 3.3.2 Estado endurecido

#### 3.3.2.1 Determinação da resistência à compressão

A resistência à compressão foi determinada através de corpos-de-prova cilíndricos e diretamente com os blocos. Em ambos os casos forma feitos capeamentos com pasta de cimento 24 horas antes de rompê-los. No caso dos corpos-de-prova o capeamento foi realizado nas duas faces, com o auxílio de uma chapa metálica e no caso dos blocos o capeamento foi realizado sobre uma chapa de vidro e apenas na face superior, pois na inferior não havia necessidade, pois já apresentava bom acabamento. Utilizou-se uma mesa perfeitamente nivelada para se realizar os

capeamentos e ainda se averiguava a planicidade na superfície dos blocos com o auxílio de um nível de madeira (Figura 3.9).



FIGURA 3.9 – Detalhe do capeamento dos corpos-de-prova e dos blocos.

As resistências à compressão para os corpos-de-prova e para os blocos foram determinadas para as datas de 7 e 28 dias, obedecendo ao procedimento descrito pela NBR 5739 para corpos-de-prova e pela NBR 7184 para blocos, conforme apresentado a seguir:

- centraliza-se cuidadosamente o corpo-de-prova ou o bloco no prato inferior da prensa e faz-se com que o prato rotulado fique em contato com o corpo-de-prova de forma uniforme;
- aplica-se a carga de forma contínua e sem choques, com velocidade de carregamento de 0,3 MPa/s a 0,8 MPa/s até ocorrer o recuo do ponteiro de carga, que deve ser anotada como carga de ruptura do corpo-de-prova;
- obtém-se a resistência à compressão dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova ou do bloco, devendo o resultado ser expresso com aproximação de 0,1 MPa.

Na realização do ensaio com os blocos foi colocada uma placa de aço para fazer a distribuição uniforme da carga aplicada (Figura 3.10).

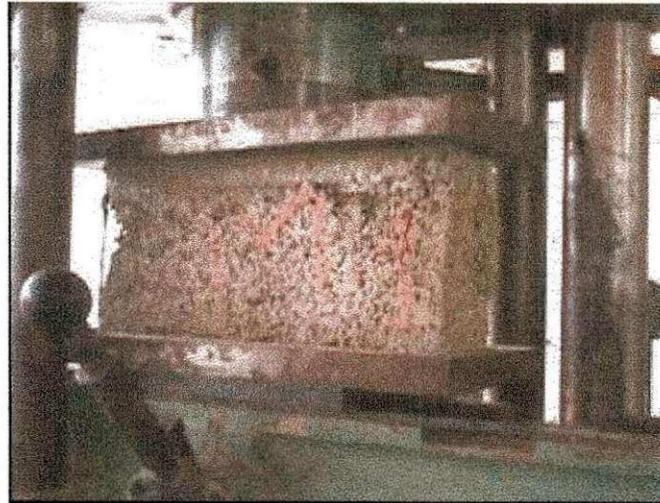


FIGURA 3.10 – Detalhe do bloco sendo rompido.

### 3.3.2.2 Determinação da absorção de água

Após 28 dias de cura dos blocos, realizou-se o ensaio de absorção de água através de três amostras, conforme descrito a seguir (MB-3459):

- coloca-se a amostra em estufa permanecendo por 24 h e então se determina a sua massa. Coloca-a novamente na estufa por 2 h, pesa-a e repete-se esta operação até que em duas pesagens sucessivas não se tenha diferença de massa superior a 0,5% em relação ao maior valor, anotando-se então a sua massa seca ( $M_s$ );
- após resfriado naturalmente à temperatura ambiente, faz-se a imersão do bloco em água à temperatura de  $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$  por 24 h;
- deixa-se o bloco drenando por 60 s e remove-se a água superficial visível com um pano seco. Pesa-se e volta a mergulhar o bloco em água;
- repete-se a operação anterior a cada 2 h, até que em duas pesagens sucessivas não se tenha diferença de massa superior a 0,5% em relação ao maior valor, anotando-se então a sua massa saturada ( $M_{sat}$ ).

Tem-se:

Absorção de água por imersão em porcentagem ( $A_b$ ):

$$A_b = \left( \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \right) \cdot 100$$

Onde:  $M_s$  = massa da amostra seca em estufa (kg);

$M_{sat}$  = massa da amostra saturada em água com superfície seca (kg).

### 3.4 Delineamento Experimental e Análise Estatística

Fez-se a interpretação dos resultados obtidos dos ensaios de caracterização do concreto e aplicou-se a análise de variância como ferramenta.

Com relação à massa unitária e absorção de água, utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado com sete tratamentos e três repetições. Sendo os tratamentos constituídos por 40%, 50%, 60%, 70%, 80% 90% e 100% de teores de agregados de EVA presentes no volume total dos agregados.

Realizou-se também um estudo para se verificar a possível correlação entre a massa unitária e resistência, e entre a absorção e resistência. Para isto, determinou-se o coeficiente de correlação ( $r$ ).

As análises da resistência à compressão estão apresentadas a seguir:

#### 3.4.1 Análise 1 (compósitos com agregado EVA 1 e com agregado EVA 2)

Verificar a influência da granulometria e das variações dos teores de EVA na resistência à compressão dos compósitos usados com agregado leve sem tratamento térmico. Para isto, fez-se uma comparação entre o concreto de agregado EVA 1 ( $D_{\text{máx}}=9,5\text{mm}$ ) com a argamassa de agregado EVA 2 ( $D_{\text{máx}}=4,8\text{mm}$ ).

Considerou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado com arranjo fatorial  $2 \times 7$  (2 tipos de granulometria e 7 teores de EVA) com seis repetições, sendo os tratamentos constituídos pela combinação dos níveis desses dois fatores, totalizando 14 tratamentos: T1=9,5mm+40%; T2=9,5mm+50%; T3=9,5mm+60%; T4=9,5mm+70%; T5=9,5mm+80%; T6=9,5mm+90%; T7=9,5mm+100%; T8=4,8mm+40%; T9=4,8mm+50%; T10=4,8mm+60%; T11=4,8mm+70%; T12=4,8mm+80%; T13=4,8mm+90%; T14=4,8mm+100%.

#### 3.4.2 Análise 2 (compósitos com agregado EVA 3 e com agregado EVA 4)

de agregado EVA 3 ( $D_{\text{máx}} = 9,5\text{mm}$ ) com o concreto de agregado EVA 4 ( $D_{\text{máx}} = 6,3\text{mm}$ ).

Os tratamentos foram: T1=9,5mm+40%; T2=9,5mm+50%; T3=9,5mm+60%; T4=9,5mm+70%; T5=9,5mm+80%; T6=9,5mm+90%; T7=9,5mm+100%; T8=6,3mm+40%; T9=6,3mm+50%; T10=6,3mm+60%; T11=6,3mm+70%; T12=6,3mm+80%; T13=6,3mm+90%; T14=6,3mm+100%

### 3.4.3 Análise 3 (compósitos com agregado EVA 1 e com agregado EVA 3)

Verificar a influência do tratamento térmico e das variações dos teores de EVA na resistência à compressão dos compósitos. Para isto, faz-se uma comparação entre o concreto de agregado EVA 1 ( $D_{\text{máx}} = 9,5\text{mm}$ , sem Tratamento Térmico) com a concreto de agregado EVA 3 ( $D_{\text{máx}} = 9,5\text{mm}$ , com Tratamento Térmico).

Considerou-se também um delineamento experimental inteiramente casualizado com arranjo fatorial 2x7 (2 tipos de tratamentos dados aos agregados leves e 7 teores de EVA) com seis repetições, sendo os tratamentos constituídos pela combinação dos níveis desses dois fatores, totalizando 14 tratamentos: T1=semT.T.+40%; T2=semT.T.+50%; T3=semT.T.+60%; T4=semT.T.+70%; T5=semT.T.+80%; T6=semT.T.+90%; T7=semT.T.+100%; T8=comT.T.+40%; T9=comT.T.+50%; T10=comT.T.+60%; T11=comT.T.+70%; T12= comT.T.+80%; T13= comT.T.+90%; T14= comT.T.+100%.

### 3.4.4 Análise 4 (compósito com agregado EVA 1, comparação nos casos sem e com brita “0”)

Verificar a influência da substituição de parte do agregado de EVA por brita “0”. Para isto, avaliou-se os traços que possuem a mesma proporção (em volume) de agregado graúdo, fazendo-se uma comparação quando utilizado sem brita “0” e com brita “0”.

Portanto foram comparados os traços C2 com o C10 (50% de agregados graúdos); traços C2 com o C11 (50% de agregados graúdos); traços C3 com o C8 (60% de agregados graúdos); traços C3 com o C9 (60% de agregados graúdos) e C1

comparado com o C12 (40% de agregados graúdos). Considerou-se para esses casos um delineamento experimental inteiramente casualizado para os dois tratamentos (sem e com brita “0”) e seis repetições.

Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste de F) e as médias dos fatores envolvidos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Gomes, 1985).

## CAPÍTULO 4

### APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 4.1 Caracterização dos Materiais

##### 4.1.1 Agregado miúdo (agregado natural)

As principais propriedades da areia estão apresentadas na Tabela 4.1.

A NBR 7211 especifica que os torrões de argila não devem exceder o limite de 1,5% em relação máximos à massa do material. Portanto, esta areia está dentro deste padrão. Quanto à presença de material pulverulento, está bem abaixo dos limites máximos permitidos para qualquer tipo de concreto (limite máximo para concreto submetido ao desgaste superficial = 3% e para os demais concretos = 5%, conforme a NBR 7211).

TABELA 4.1 – Propriedades físicas da areia utilizada.

Propriedades	Valor
Massa específica	2591kg/m <sup>3</sup>
Massa unitária em estado solto	1460kg/m <sup>3</sup>
Massa unitária no estado compactado	1616kg/m <sup>3</sup>
Dimensão máxima	2,4mm
Módulo de finura	2,24
Teor de argila em torrões	0,95%
Teor de materiais pulverulentos	0,74%

O resultado do ensaio da composição granulométrica da areia está apresentado na Tabela 4.2 e a curva granulométrica na Figura 4.1. Verifica-se, conforme sua granulometria, que este agregado enquadra-se nos limites da Zona 2 apresentados na NBR 7211 e, portanto, classifica-se como areia fina. Observa-se também que a areia apresenta um teor de finos em torno de 65% nas peneiras 0,15 e

0,30mm, sendo assim apropriada para uso em peças pré-moldadas por proporcionar um bom acabamento superficial.

TABELA 4.2 – Composição granulométrica da areia utilizada.

Abertura da peneira (mm)	% Retida	% Retida acumulada	% que passa da amostra total
12,5	0,00	0,00	100,00
9,5	0,45	0,45	99,55
4,8	0,41	0,86	99,14
2,4	1,45	2,31	97,69
1,2	5,52	7,83	92,17
0,6	23,79	31,62	68,38
0,3	50,83	82,45	17,55
0,15	15,88	98,33	1,67
Resto	1,67	100,00	0,00

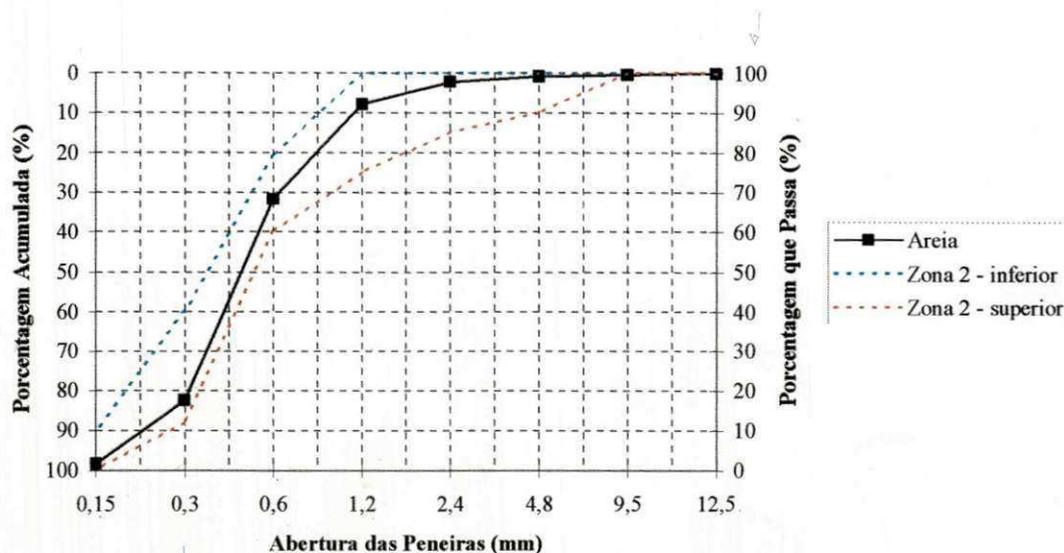


FIGURA 4.1 – Curva Granulométrica da areia e enquadramento na respectiva zona de classificação estabelecida pela NBR 7211.

#### 4.1.2 Agregado graúdo (agregado natural)

As principais propriedades do agregado graúdo utilizado estão apresentadas na Tabela 4.3. O resultado do ensaio da composição granulométrica está apresentado na Tabela 4.4 e a curva granulométrica na Figura 4.2. Verifica-se, portanto, que este é um agregado graúdo de graduação “0”, portanto trata-se de uma brita “0”.

TABELA 4.3 – Propriedades físicas do agregado graúdo natural utilizado (Brita “0”).

Propriedades	Valor
Massa específica na condição seca	2632kg/m <sup>3</sup>
Massa específica na condição saturada superfície seca	2657 kg/m <sup>3</sup>
Absorção	0,93%
Massa unitária em estado solto	1410kg/m <sup>3</sup>
Massa unitária no estado compactado	1744kg/m <sup>3</sup>
Dimensão máxima	9,5mm
Módulo de finura	5,03

TABELA 4.4 – Composição granulométrica do agregado graúdo natural utilizado.

Abertura da peneira (mm)	% Retida	% Retida acumulada	% que passa da amostra total
19,0	0,00	0,00	100,00
12,5	0,49	0,49	99,51
9,5	0,50	0,99	99,01
6,3	22,62	23,62	76,38
4,8	26,54	50,15	49,85
2,4	29,92	80,07	19,93
1,2	7,21	87,28	12,72
0,6	4,49	91,77	8,23
0,3	3,23	95,00	5,00
0,15	2,67	97,67	2,33
Resto	2,33	100,00	0,00

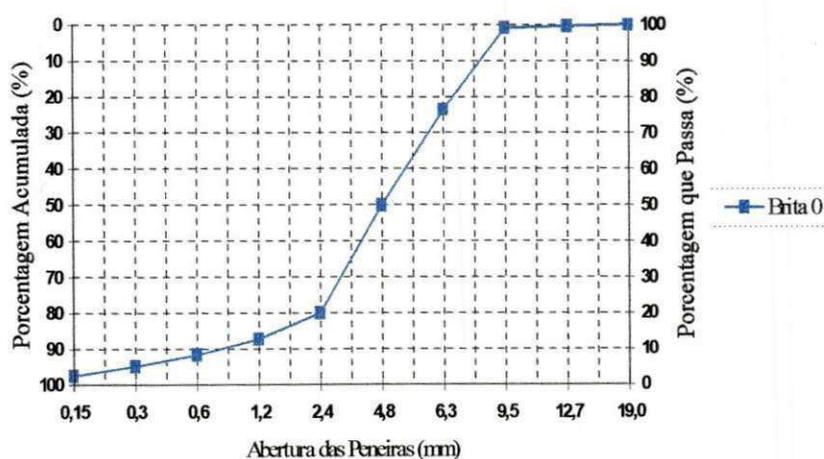


FIGURA 4.2 – Curva Granulométrica do agregado graúdo natural (Brita “0”).

### 4.1.3 Agregados de EVA (agregado artificial)

Na Tabela 4.5 estão apresentadas as principais características físicas dos agregados de EVA, os chamados EVA 1 e EVA 2 (sem tratamento térmico) e os EVA 3 e EVA 4 (com tratamento térmico) que foram usados na preparação das misturas. É apresentado também o EVA 5, que não foi utilizado como agregado para se moldar blocos, pois sua granulometria é bastante grande e, assim, não apresenta condições técnicas de uso para moldar blocos de vedação, devido à pequena espessura das paredes dos blocos ( $e=18\text{mm}$ ). Foram realizados os ensaios de caracterização com o agregado EVA 5 como forma de registrar o tipo de agregado que deu origem ao agregado EVA 3 (com tratamento térmico).

TABELA 4.5 – Propriedades físicas dos agregados de EVA.

Propriedades	Valor				
	EVA 1	EVA 2	EVA 3	EVA 4	EVA 5
Massa unitária ( $\text{kg/m}^3$ )	127,84	133,78	429,15	406,01	120,10
Dimensão máxima (mm)	9,5	4,8	9,5	6,3	12,5
Módulo de finura	5,59	4,71	5,69	5,13	6,05
Absorção de água após 24 horas (%)	96,45	137,44	24,80	46,17	69,72

Os agregados de EVA 1 e EVA 5 ao passarem pelo tratamento térmico dão origem aos agregados de EVA 4 e EVA 3, respectivamente. Verificou-se durante a execução do tratamento térmico uma redução no volume na proporção de 4 para 1, aproximadamente (Figura 4.3). Verifica-se pela Tabela 4.5 que a massa unitária dos agregados aumenta mais de 3 vezes com o tratamento térmico e a absorção de água dos agregados de EVA sem tratamento térmico (EVA 1, 2 e 5) é bem mais elevada que a dos agregados com tratamento térmico (EVA 3 e 4). Isto é esperado, pois o tratamento térmico expulsa os gases expansivos do EVA, deixando os grãos mais densos, com menos vazios em seu interior.

Analisando os agregados nas duas condições (sem e com tratamento térmico), separadamente, verifica-se que quanto menor a  $D_{\text{máx}}$  dos grãos maior a absorção do agregado. Isto pode ser explicado pelo fato de que os grãos menores possuem superfície específica maior, sendo, portanto, maior a área de contato com a água.

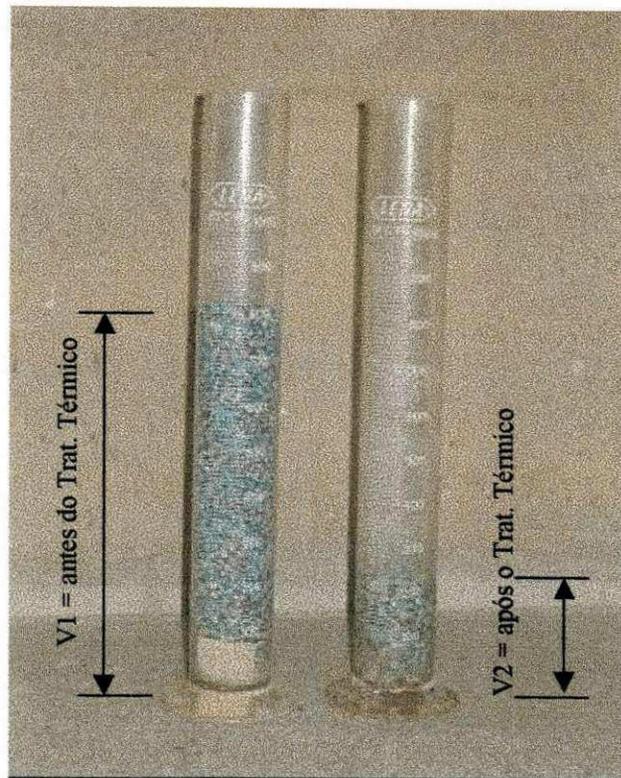


FIGURA 4.3 - Ilustração do fenômeno de variação volumétrica do agregado com tratamento térmico.

Por se tratar de uma informação relevante no comportamento da mistura, é apresentada a curva de ganho de absorção de água pelo agregado em função do tempo (Figura 4.4). Verifica-se a tendência que os agregados com tratamento térmico possuem de absorver menor quantidade de água com o tempo. Apesar de que até os primeiros 60 minutos a curva de absorção dos agregados EVA 1 e EVA 4 possuem praticamente o mesmo traçado, a absorção após 24 horas é bastante diferente entre os dois agregados (EVA 1=96,45% e EVA 4=46,17%, mostrado na Tabela 4.5), isto é, o tratamento térmico reduziu aproximadamente pela metade o efeito da absorção nos agregados com mesma dimensão máxima das partículas.

Observa-se que os agregados com tratamento térmico aumentam muito pouco a absorção após 60 min; já os agregados sem tratamento térmico têm um aumento considerável e podem continuar absorvendo água por dias, até completar a saturação de seus poros. A partir dessa constatação, pode-se propor que os agregados com tratamento térmico podem passar por uma pré-molhagem em menor intervalo de tempo ou, até mesmo, eliminar tal procedimento para estes casos. Já os agregados de EVA sem tratamento térmico, devido sua alta capacidade de absorção é relevante

fazer a pré-molhagem. Na pesquisa, como forma de facilitar o controle de tempo, adotou-se o mesmo intervalo de tempo para todos os agregados (60 minutos).

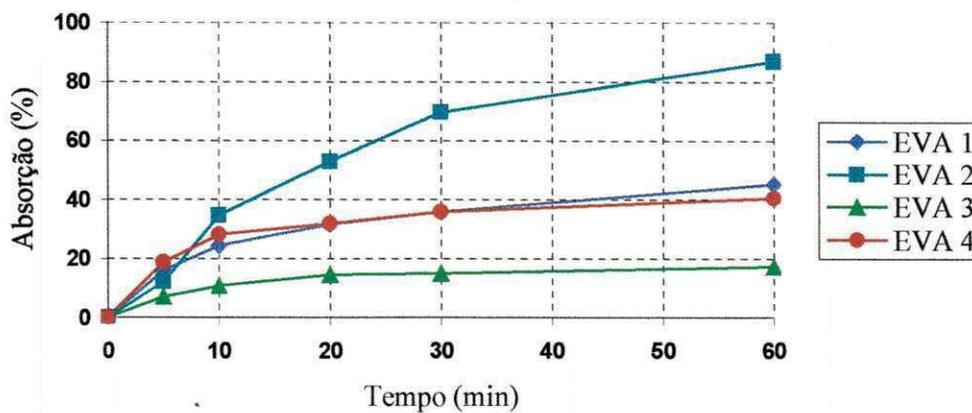


FIGURA 4.4 – Curva de absorção de água dos agregados de EVA utilizados.

As curvas granulométricas de cada agregado de EVA estão apresentadas na Figura 4.5 e suas composições granulométricas encontram-se no Anexo C.

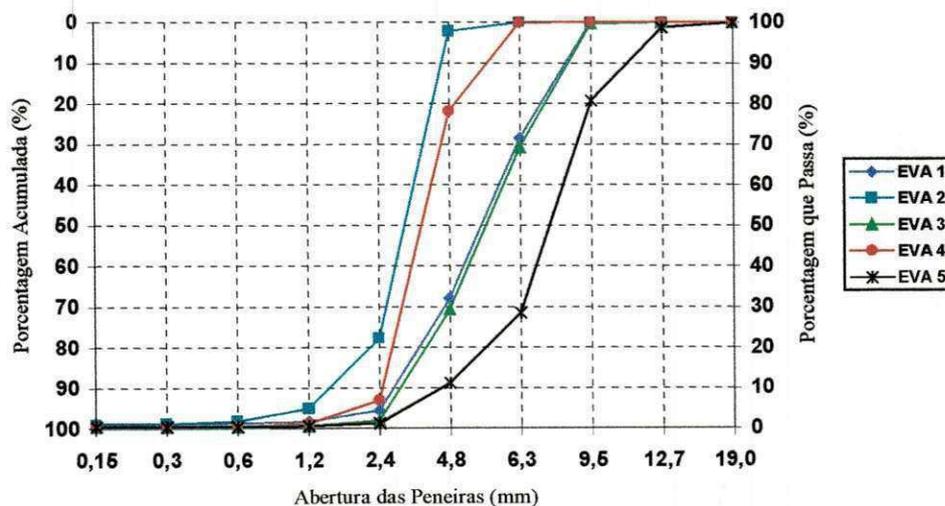


FIGURA 4.5 – Curva Granulométrica dos agregados de EVA.

#### 4.1.4 Cimento

O cimento utilizado foi do tipo CP II Z-32 e suas principais características físicas e químicas foram apresentadas no item 3.1.4.

## 4.2 Caracterização do Concreto Leve

### 4.2.1 Determinação da relação água/aglomerante nos compósitos

Foram realizados testes preliminares, variando algumas relações água/aglomerante ( $a/agl$ ), com o objetivo de se estabelecer a melhor relação para cada tipo de agregado de EVA. Foram escolhidos traços intermediários para que pudessem representar da melhor maneira possível todas as condições de combinações dos outros traços. Para isto foram moldados 6 blocos e 6 corpos-de-prova para se fazer ensaio de resistência à compressão aos 7 dias, além de ser feita uma avaliação visual das condições de trabalhabilidade da mistura. Os resultados estão apresentados nas Figuras 4.6 e 4.7.

Observa-se na Figura 4.6 que com a redução da relação  $a/agl$ , ocorreu uma expressiva redução na resistência do compósito com agregado EVA 1. Essa redução na resistência deveu-se ao fato de não se ter conseguido trabalhabilidade adequada com uma relação  $a/agl$  tão baixa, resultando em corpos-de-prova e blocos com muitos vazios e, conseqüentemente, com baixa resistência e sem coesão. Porém ao se elevar a relação  $a/agl$  chegou um momento que não mais se conseguiu moldar os blocos (relação  $a/agl$  acima de 0,35), pois o concreto fresco pregava nas paredes do molde da máquina de fabricação dos blocos e não se conseguia retirá-lo de forma íntegra. O fato da mistura ter-se tornado relativamente plástica foi crucial, definindo o limite para o teor máximo de água nas misturas. Verifica-se ainda na Figura 4.6 que os corpos-de-prova continuam ganhando resistência com o aumento da relação  $a/agl$ , apesar de que, é de se esperar, chegará um momento que esta resistência irá cair com o aumento da relação  $a/agl$ . Porém, não mais se continuou a acrescentar água, pois não foi mais possível a moldagem de blocos, devido haver água demais na mistura para as condições de operação da máquina de moldagem que se estava usando na pesquisa.

Portanto, nota-se que é possível se conseguir melhores resistências no concreto para os mesmos traços aqui apresentados, porém como o objetivo da pesquisa é a moldagem de blocos, o concreto deve está com consistência adequada para tal objetivo, isto é, com um aspecto de “farofa um pouco úmida”. Para este

agregado, a melhor relação a/agl para moldagem de blocos é 0,35, considerando a máquina de moldagem utilizada na pesquisa.

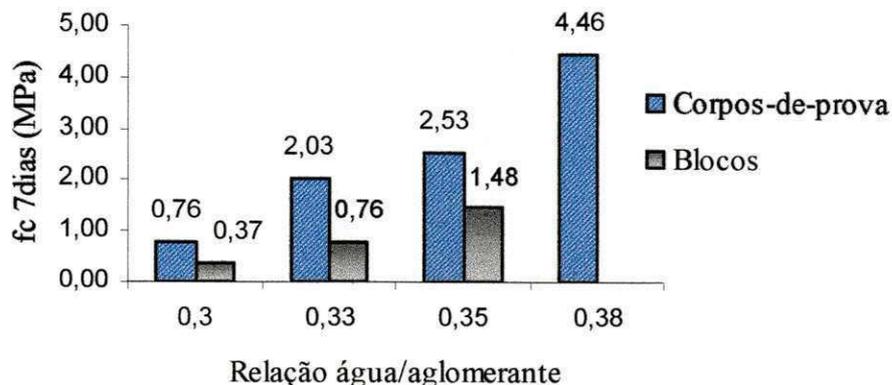


FIGURA 4.6 – Relação água/aglomerante versus resistência à compressão aos 7 dias para o agregado EVA 1 no traço 1:1,2:1,8 (cim.: areia: EVA, em volume).

Ao se acrescentar brita “0” à mistura, para conseguir moldar os blocos foi necessário reduzir a quantidade de água na mistura para uma relação a/agl de 0,30. Isto se explica pela presença da brita, que possui absorção de água praticamente insignificante (0,93%) e entrou na mistura substituindo parte do agregado de EVA, ficando estes traços com menores proporções de EVA (20 a 40%), que é o agregado absorvente de água da mistura.

Com o agregado de EVA 3, que possui o mesmo  $D_{máx}$  do agregado de EVA 1, adotou-se a mesma relação a/agl (0,35). Porém, para as misturas com maiores proporções de EVA 3, não se conseguiu moldar os blocos, pois havia água em excesso. Isto é explicado devido ao tratamento térmico ter reduzido o efeito da absorção do agregado de EVA 3 e, portanto, não havia necessidade de se colocar tanta água na mistura. Assim, para estes casos, também se usou a relação a/agl igual a 0,33.

Por apresentar granulometria próxima ao agregado EVA 3 e também ter sofrido tratamento térmico, as condições de trabalhabilidade da mistura com agregado EVA 4 foram semelhantes, sendo também necessário diminuir para 0,33 a relação a/agl nos traços com maiores proporções de EVA.

Para as misturas com agregado EVA 2 (Figura 4.7), notou-se o mesmo comportamento da relação a/agl e resistência à compressão que ocorreu com a

mistura com agregado EVA 1. Porém, com EVA 2 se conseguiu moldar blocos com uma relação a/agl de 0,38, sendo, portanto este o valor adotado nas misturas para tal agregado.

A maior relação a/agl nos compósitos com EVA 2 é devido este agregado ter absorvido maior quantidade de água que os demais durante a pré-molhagem (ver Figura 4.4).

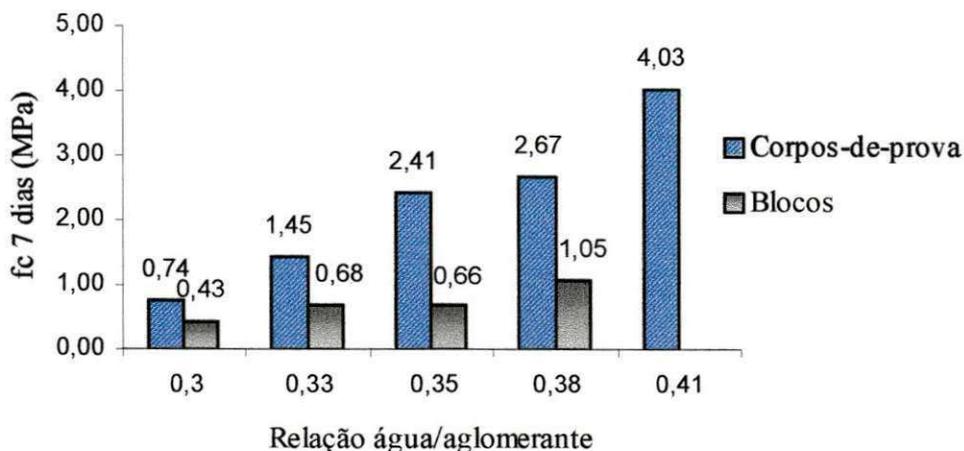


FIGURA 4.7 – Relação água/aglomerante versus resistência à compressão aos 7 dias para o agregado EVA 2 no traço 1:0,9:2,1 (cim.: areia: EVA, em volume).

Quando da preparação da mistura, fez-se a conversão do traço em volume para traço em massa de material, por apresentar maior confiabilidade na acurácia das medidas.

Nas Tabelas 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9 são apresentados os vários compósitos cimentícios, com agregados: areia; brita “0” e EVA, no traço adotado na pesquisa (1:3, cim.: agregados, em volume), mostrando o desdobramento dos traços unitários de volume para peso e as relações a/agl. São apresentadas duas relações a/agl para cada traço, sendo que aquela que está entre parênteses significa a relação a/agl que não inclui a água absorvida pelo agregado leve durante a pré-molhagem.

Verifica-se que quando se aumenta a porcentagem de agregado de EVA, diminui a quantidade de água necessária a ser acrescentada à mistura. Pois, quanto maior a quantidade de agregado leve incorporado na mistura, maior o volume de água já absorvido por ele durante a pré-molhagem.

TABELA 4.6 – Traços unitários em peso e em volume com a relação a/agl da mistura utilizando o agregado de EVA 1.

Traço 1 : 3	Traço unitário (VOLUME)				Traço unitário (PESO)				a/agl	
	AGL	AGREGADOS		AGL	AGREGADOS					
		Miúdo	Graúdo		Miúdo	Graúdo				
	Cim	Areia	Brita	EVA	Cim	Areia	Brita	EVA		
Presença de agregado artificial de EVA 1 ( $D_{\max}=9,5\text{mm}$ ) sem Tratamento Térmico	C <sub>1</sub>	1	1,8 (60%)	-	1,2 (40%)	1	2,253	-	0,131	0,35 (0,25)
	C <sub>2</sub>	1	1,5 (50%)	-	1,5 (50%)	1	1,878	-	0,164	0,35 (0,23)
	C <sub>3</sub>	1	1,2 (40%)	-	1,8 (60%)	1	1,502	-	0,197	0,35 (0,21)
	C <sub>4</sub>	1	0,9 (30%)	-	2,1 (70%)	1	1,127	-	0,230	0,35 (0,18)
	C <sub>5</sub>	1	0,6 (20%)	-	2,4 (80%)	1	0,751	-	0,263	0,35 (0,08)
	C <sub>6</sub>	1	0,3 (10%)	-	2,7 (90%)	1	0,376	-	0,296	0,35 (0,06)
	C <sub>7</sub>	1	-	-	3,0 (100%)	1	-	-	0,329	0,35 (0,04)
Presença conjunta de areia, brita "0" e EVA 1.	C <sub>8</sub>	1	1,2 (40%)	0,6 (20%)	1,2 (40%)	1	1,502	0,725	0,131	0,30 (0,20)
	C <sub>9</sub>	1	1,2 (40%)	0,9 (30%)	0,9 (30%)	1	1,502	1,088	0,099	0,30 (0,23)
	C <sub>10</sub>	1	1,5 (50%)	0,6 (20%)	0,9 (30%)	1	1,878	0,725	0,099	0,30 (0,24)
	C <sub>11</sub>	1	1,5 (50%)	0,75 (25%)	0,75 (25%)	1	1,878	0,907	0,082	0,30 (0,25)
	C <sub>12</sub>	1	1,8 (60%)	0,6 (20%)	0,6 (20%)	1	2,253	0,725	0,066	0,30 (0,27)

TABELA 4.7 – Traços unitários em peso e em volume com a relação a/agl da mistura utilizando o agregado de EVA 2.

Traço 1 : 3	Traço unitário (VOLUME)			Traço unitário (PESO)			a/agl	
	AGL	AGREGADO MIÚDO		AGL	AGREGADO MIÚDO			
	Cim	Areia	EVA	Cim	Areia	EVA		
Presença de agreg. artificial de EVA 2 ( $D_{\max}=4,8\text{mm}$ ) sem Trat. Térmico.	A <sub>1</sub>	1	1,8 (60%)	1,2 (40%)	1	2,253	0,138	0,38 (0,23)
	A <sub>2</sub>	1	1,5 (50%)	1,5 (50%)	1	1,878	0,172	0,38 (0,18)
	A <sub>3</sub>	1	1,2 (40%)	1,8 (60%)	1	1,502	0,206	0,38 (0,15)
	A <sub>4</sub>	1	0,9 (30%)	2,1 (70%)	1	1,127	0,241	0,38 (0,10)
	A <sub>5</sub>	1	0,6 (20%)	2,4 (80%)	1	0,751	0,275	0,38 (0,07)
	A <sub>6</sub>	1	0,3 (10%)	2,7 (90%)	1	0,376	0,310	0,38 (0,04)
	A <sub>7</sub>	1	-	3,0 (100%)	1	-	0,344	0,38 (0,04)

TABELA 4.8 – Traços unitários em peso e em volume com a relação a/agl da mistura utilizando o agregado de EVA 3.

Traço 1 : 3	Traço unitário (VOLUME)				Traço unitário (PESO)				a/agl	
	AGL	AGREGADOS			AGL	AGREGADOS				
	Cim	Miúdo Areia	Graúdo Brita	EVA	Cim	Miúdo Areia	Graúdo Brita	EVA		
Presença de agregado artificial de EVA 3 ( $D_{\max}=9,5\text{mm}$ ) obtida após Tratamento Térmico.	CT <sub>1</sub>	1	1,8 (60%)	-	1,2 (40%)	1	2,253	-	0,442	0,35 (0,28)
	CT <sub>2</sub>	1	1,5 (50%)	-	1,5 (50%)	1	1,878	-	0,552	0,35 (0,25)
	CT <sub>3</sub>	1	1,2 (40%)	-	1,8 (60%)	1	1,502	-	0,662	0,35 (0,24)
	CT <sub>4</sub>	1	0,9 (30%)	-	2,1 (70%)	1	1,127	-	0,773	0,35 (0,24)
	CT <sub>5</sub>	1	0,6 (20%)	-	2,4 (80%)	1	0,751	-	0,883	0,35 (0,19)
	CT <sub>6</sub>	1	0,3 (10%)	-	2,7 (90%)	1	0,376	-	0,994	0,33 (0,19)
	CT <sub>7</sub>	1	-	-	3,0 (100%)	1	-	-	1,104	0,33 (0,15)

TABELA 4.9 – Traços unitários em peso e em volume com a relação a/agl da mistura utilizando o agregado de EVA 4.

Traço 1 : 3	Traço unitário (VOLUME)				Traço unitário (PESO)				a/agl	
	AGL	AGREGADOS			AGL	AGREGADOS				
	Cim	Miúdo Areia	Graúdo Brita	EVA	Cim	Miúdo Areia	Graúdo Brita	EVA		
Presença de agregado artificial de EVA 4 ( $D_{\max}=6,3\text{mm}$ ) obtida após Tratamento Térmico.	CT <sub>8</sub>	1	1,8 (60%)	-	1,2 (40%)	1	2,253	-	0,418	0,35 (0,26)
	CT <sub>9</sub>	1	1,5 (50%)	-	1,5 (50%)	1	1,878	-	0,522	0,35 (0,22)
	CT <sub>10</sub>	1	1,2 (40%)	-	1,8 (60%)	1	1,502	-	0,627	0,35 (0,21)
	CT <sub>11</sub>	1	0,9 (30%)	-	2,1 (70%)	1	1,127	-	0,731	0,35 (0,21)
	CT <sub>12</sub>	1	0,6 (20%)	-	2,4 (80%)	1	0,751	-	0,835	0,35 (0,21)
	CT <sub>13</sub>	1	0,3 (10%)	-	2,7 (90%)	1	0,376	-	0,940	0,33 (0,16)
	CT <sub>14</sub>	1	-	-	3,0 (100%)	1	-	-	1,044	0,33 (0,14)

#### 4.2.2 Resultados

Nas Tabelas 4.10, 4.11, 4.12 e 4.13 são apresentados os resultados obtidos em cada ensaio, tanto para os corpos-de-prova como para os blocos. Os valores da

resistência à compressão representam a média de seis amostras, os valores da absorção são formados pela média de três amostras e a massa unitária do concreto e a massa do bloco também são obtidas pela média de três amostras, na condição de mistura fresca.

Adotou-se moldar não somente corpos-de-prova cilíndricos, mas também blocos, pois se verificou que os resultados obtidos para um mesmo traço em corpos-de-prova e blocos são distintos e, portanto, torna-se arriscado interpretar os resultados dos corpos-de-prova como totalmente válidos para blocos. A fabricação dos blocos exige condições adequadas de trabalhabilidade adaptada à vibração da máquina de moldagem e, portanto, por mais cuidado que se tenha para que o adensamento aplicado na mistura utilizada em corpos-de-prova cilíndricos seja semelhante às condições de moldagem do bloco, não se consegue torná-las iguais. Além disso, deve-se considerar também o fator de forma que justifica as diferenças entre os resultados obtidos com corpos-de-prova e blocos.

Como o objetivo deste trabalho é a moldagem de blocos, todos os traços aqui apresentados foram ajustados para permitir adequada moldagem dos blocos, usando os materiais e métodos elucidados anteriormente, sendo, portanto, válidos para as condições de estudo aqui desenvolvidas.

Caso se queira aumentar a resistência do concreto nos traços analisados para se aplicar em condições que exigem maiores resistências, pode-se trabalhar com misturas mais fluidas (aumentar a relação água/aglomerante, porém de forma limitada), como visto nas Figuras 4.6 e 4.7, ou ainda trabalhar com um traço mais rico em cimento, sendo necessário uma avaliação dos aspectos econômicos.

Garlet (1998) propõe como forma de melhoria das condições de trabalhabilidade da mistura o uso de aditivos incorporadores de ar, o uso de pozolanas e o uso de misturas ricas em cimento. São alternativas que podem com isto melhorar a resistência dos compósitos.

Por outro lado, o concreto com agregado de EVA pode ser aplicado com traços mais pobres para outros fins, quando se quer aproveitar suas características de baixa massa unitária, boa capacidade de isolante térmico, etc, como apresentado por Garlet (1998).

TABELA 4.10 – Valores médios obtidos para os ensaios especificados para o compósito com agregado de EVA 1 ( $D_{m\acute{a}x} = 9,5\text{mm}$ , EVA sem tratamento térmico).

TRAÇO	AGLOM. Cimento	AGREGADO			Massa unitária ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Massa do bloco (kg)	CORPO-DE-PROVA		BLOCO		$A_b$ (%)
		MIÚDO Areia	GRAÚDO Brita "0" EVA				$f_{c7 \text{ dias}}$ (MPa)	$f_{c28 \text{ dias}}$ (MPa)	$f_{c7 \text{ dias}}$ (MPa)	$f_{c28 \text{ dias}}$ (MPa)	
C <sub>1</sub>	1	1,8 (60%)	-	1,2 (40%)	1362	6,65	1,95	2,43	1,26	1,33	8,86
C <sub>2</sub>	1	1,5 (50%)	-	1,5 (50%)	1269	6,44	2,18	2,47	1,27	1,39	8,64
C <sub>3</sub>	1	1,2 (40%)	-	1,8 (60%)	1153	6,28	2,53	2,57	1,52	1,61	8,77
C <sub>4</sub>	1	0,9 (30%)	-	2,1 (70%)	1065	5,57	1,54	2,07	1,09	1,18	10,00
C <sub>5</sub>	1	0,6 (20%)	-	2,4 (80%)	820	3,75	1,44	1,48	0,29	0,31	15,86
C <sub>6</sub>	1	0,3 (10%)	-	2,7 (90%)	701	3,10	1,27	1,35	0,19	0,22	18,41
C <sub>7</sub>	1	-	-	3,0 (100%)	666	2,92	1,23	1,28	0,18	0,21	19,67
C <sub>8</sub>	1	1,2 (40%)	0,6 (20%)	1,2 (40%)	1291	6,25	1,38	1,54	0,98	1,05	8,28
C <sub>9</sub>	1	1,2 (40%)	0,9 (30%)	0,9 (30%)	1472	6,99	2,12	2,16	1,61	1,94	8,11
C <sub>10</sub>	1	1,5 (50%)	0,6 (20%)	0,9 (30%)	1378	6,92	1,40	1,43	0,80	1,04	9,31
C <sub>11</sub>	1	1,5 (50%)	0,75 (25%)	0,75 (25%)	1449	6,24	1,59	1,91	1,33	1,38	8,83
C <sub>12</sub>	1	1,8 (60%)	0,6 (20%)	0,6 (20%)	1416	6,53	1,33	1,70	1,04	1,20	13,01

TABELA 4.11 – Valores médios obtidos para os ensaios especificados para o compósito com agregado de EVA 2 ( $D_{m\acute{a}x} = 4,8\text{mm}$ , EVA sem tratamento térmico).

TRAÇO	AGLOM. Cimento	AGREGADOS MIÚDOS		Massa unitária ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )	Massa do bloco (Kg)	CORPO-DE-PROVA		BLOCO		$A_b$ (%)
		Areia	EVA			$f_{c7 \text{ dias}}$ (MPa)	$f_{c28 \text{ dias}}$ (MPa)	$f_{c7 \text{ dias}}$ (MPa)	$f_{c28 \text{ dias}}$ (MPa)	
A <sub>1</sub>	1	1,8 (60%)	1,2 (40%)	1358	6,88	3,11	4,25	1,39	1,43	9,90
A <sub>2</sub>	1	1,5 (50%)	1,5 (50%)	1290	6,40	2,32	2,73	1,11	1,38	11,31
A <sub>3</sub>	1	1,2 (40%)	1,8 (60%)	1169	5,78	1,37	1,98	0,85	0,98	12,72
A <sub>4</sub>	1	0,9 (30%)	2,1 (70%)	1104	5,82	1,82	2,32	1,08	1,28	10,22
A <sub>5</sub>	1	0,6 (20%)	2,4 (80%)	925	3,94	1,25	1,26	0,29	0,31	20,32
A <sub>6</sub>	1	0,3 (10%)	2,7 (90%)	831	3,59	1,22	1,25	0,27	0,29	21,64
A <sub>7</sub>	1	-	3,0 (100%)	682	3,03	1,28	1,39	0,23	0,25	23,73

TABELA 4.12 – Valores médios obtidos para os ensaios especificados para o compósito com agregado de EVA 3  
( $D_{m\acute{a}x} = 9,5\text{mm}$ , EVA com tratamento térmico).

TRAÇO	AGLOM. Cimento	AGREGADO		Massa unitária ( $\text{kg/m}^3$ )	Massa do bloco (kg)	CORPO-DE-PROVA		BLOCO		
		MIÚDO Areia	GRAÚDO Brita "0" EVA			$f_{c7 \text{ dias}}$ (MPa)	$f_{c 28 \text{ dias}}$ (MPa)	$f_{c7 \text{ dias}}$ (MPa)	$f_{c 28 \text{ dias}}$ (MPa)	$A_b$ (%)
CT <sub>1</sub>	1	1,8 (60%)	- 1,2 (40%)	1407	6,25	1,65	2,26	1,07	1,31	9,95
CT <sub>2</sub>	1	1,5 (50%)	- 1,5 (50%)	1342	6,31	1,98	2,31	1,48	1,49	10,38
CT <sub>3</sub>	1	1,2 (40%)	- 1,8 (60%)	1268	5,67	2,22	2,43	1,63	1,72	8,34
CT <sub>4</sub>	1	0,9 (30%)	- 2,1 (70%)	1228	5,62	2,29	2,54	1,90	2,41	6,22
CT <sub>5</sub>	1	0,6 (20%)	- 2,4 (80%)	1034	5,40	1,95	2,00	1,00	1,05	11,04
CT <sub>6</sub>	1	0,3 (10%)	- 2,7 (90%)	970	4,90	1,88	1,90	0,78	0,83	11,74
CT <sub>7</sub>	1	-	- 3,0 (100%)	838	4,14	1,61	1,64	0,55	0,60	13,56

TABELA 4.13 – Valores médios obtidos para os ensaios especificados para o compósito com agregado de EVA 4  
( $D_{m\acute{a}x} = 6,3\text{mm}$ , EVA com tratamento térmico).

TRAÇO	AGLOM. Cimento	AGREGADO		Massa unitária ( $\text{kg/m}^3$ )	Massa do bloco (kg)	CORPO-DE-PROVA		BLOCO		
		MIÚDO Areia	GRAÚDO Brita "0" EVA			$f_{c7 \text{ dias}}$ (MPa)	$f_{c 28 \text{ dias}}$ (MPa)	$f_{c7 \text{ dias}}$ (MPa)	$f_{c 28 \text{ dias}}$ (MPa)	$A_b$ (%)
CT <sub>8</sub>	1	1,8 (60%)	- 1,2 (40%)	1383	6,65	1,85	2,47	0,78	1,09	10,51
CT <sub>9</sub>	1	1,5 (50%)	- 1,5 (50%)	1219	6,50	2,38	2,50	1,55	1,62	8,09
CT <sub>10</sub>	1	1,2 (40%)	- 1,8 (60%)	1142	6,47	2,44	2,57	1,51	1,61	8,11
CT <sub>11</sub>	1	0,9 (30%)	- 2,1 (70%)	1126	6,45	2,63	2,79	1,98	2,53	7,03
CT <sub>12</sub>	1	0,6 (20%)	- 2,4 (80%)	1081	6,22	2,76	2,88	1,65	1,85	7,95
CT <sub>13</sub>	1	0,3 (10%)	- 2,7 (90%)	957	4,92	1,67	1,73	0,75	0,77	11,59
CT <sub>14</sub>	1	-	- 3,0 (100%)	792	3,89	1,30	1,32	0,34	0,42	13,23

### 4.2.3 Massa unitária do compósito

Pela Figura 4.8 pode-se observar como se comporta a massa unitária do concreto em relação ao teor de agregado de EVA na mistura, em função dos tipos de EVA empregados. Na Figura 4.9 é apresentada a relação entre a massa unitária do concreto e o tipo de EVA de cada compósito, em função da porcentagem de EVA da mistura. Verifica-se que quanto maior a porcentagem de EVA na mistura, menor a massa unitária, comprovando que a massa unitária é função do teor de agregado leve na mistura, conforme verificado por Garlet (1998).

Este comportamento se repetiu para quase todos os traços utilizando os vários tipos de agregado de EVA (exceção quando acrescentou a brita “0”) e pode-se confirmar através da análise de variância, conforme Tabelas B1, B2, B3 e B4 do anexo B. Rejeita-se a hipótese de que as médias das massas unitárias sejam iguais e concluir-se que, para 1% de probabilidade, há diferença significativa no valor das massas unitárias devido à variação dos teores de EVA.

Os traços em que se adicionou a brita “0” à mistura, torna-se um caso a parte, pois não seguiu a mesma proporção de variações de EVA dos demais, além da presença da brita que é outra variável. Pode se verificar na análise de variância (Tabela B5 do anexo B) que o efeito foi bem menor do que nas outras misturas, existindo até médias sem diferença significativa.

Existe uma certa tendência da massa unitária do agregado leve influenciar na massa unitária do compósito. Observa-se que as curvas de massa unitária dos compósitos têm posição no gráfico, de cima para baixo (Figura 4.8) obedecendo à mesma ordem da massa unitária dos agregados que estes contêm, ou seja, obedece a seguinte ordem de grandeza:  $EVA\ 3 > EVA\ 4 > EVA\ 2 > EVA\ 1$  (ver Tabela 4.5). Apenas a curva do compósito com EVA 4 teve um comportamento que foge tal raciocínio, pois deveria estar situado entre a curva do compósito com EVA 3 e EVA 2. Neste caso, pode ter ocorrido falta de padronização no adensamento em relação aos demais.

Pode-se perceber melhor este comportamento na Figura 4.9, em que todas as curvas são descendentes, porém os pontos referentes ao compósito com EVA 4 provocam uma dispersão nos pontos.

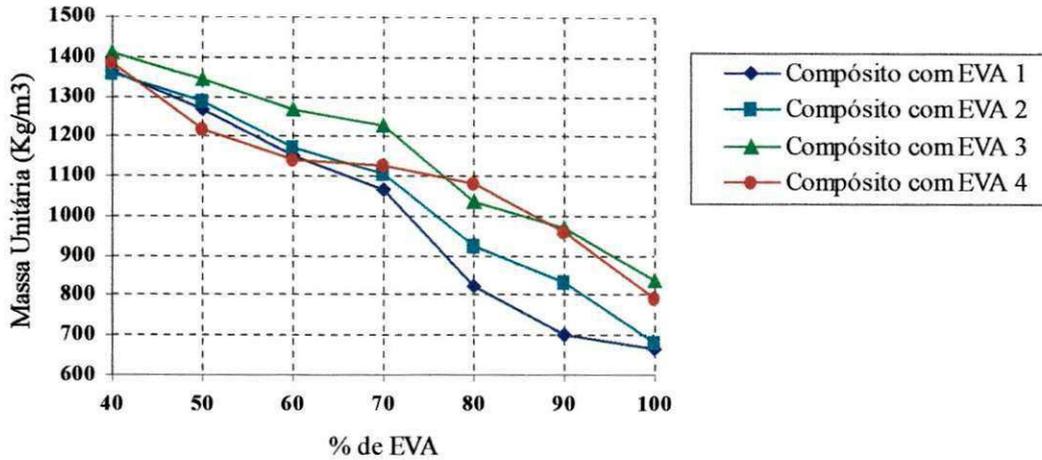


FIGURA 4.8 – Massa unitária dos compósitos em função do teor de EVA.

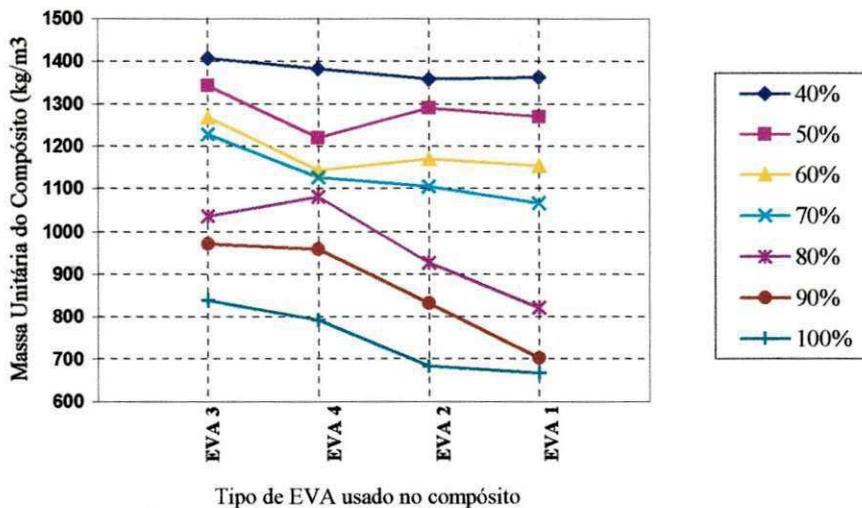


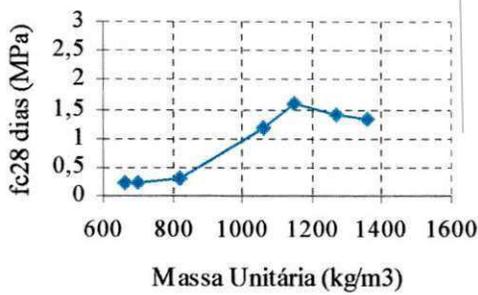
FIGURA 4.9 – Massa unitária dos compósitos em função do tipo de EVA usado.

Na Figura 4.10 é apresentada, para cada compósito, a curva massa unitária versus resistência à compressão. Como forma de analisar uma possível correlação entre elas, determinou-se o coeficiente de correlação para cada compósito estudado, sendo este testado pelo teste t (Student).

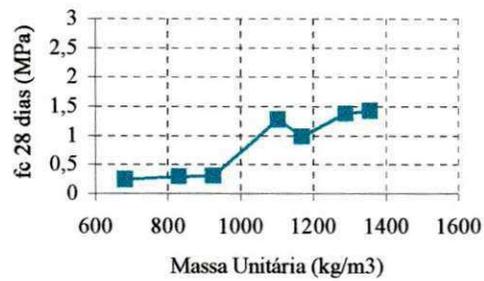
Para os compósitos que utilizaram agregado de EVA 1 e EVA 2, o coeficiente de correlação foi  $r=0,92$  ( $p<0,01$ ) e  $r=0,93$  ( $p<0,01$ ), respectivamente. São valores altos, mostrando que existiu uma boa correlação linear, significando que a medida que aumenta a massa unitária, aumenta significativamente a resistência quando se

utilizou agregado de EVA sem tratamento térmico (agregado com massa unitária muito baixa). Quando se adicionou cascalho ao compósito com EVA 1, o coeficiente de correlação foi  $r=0,76$  ( $p<0,01$ ).

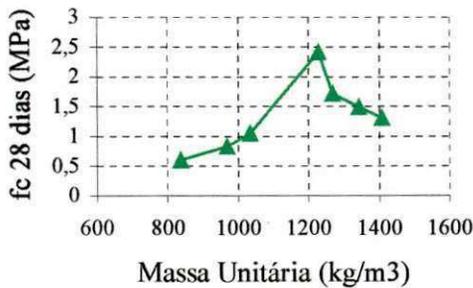
Quando da utilização de agregado de EVA com tratamento térmico tem-se  $r=0,66$  ( $p<0,01$ ) para o compósito com EVA 3 e  $r=0,45$  ( $p<0,05$ ) para o compósito com EVA 4. Não existe, portanto, uma boa correlação linear entre a massa unitária e a resistência do compósito quando se utilizou um agregado leve mais denso.



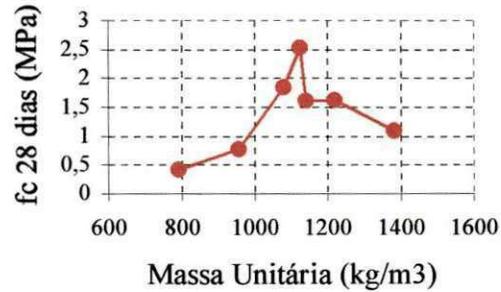
Compósito com EVA 1



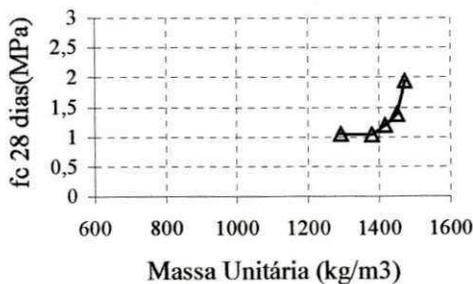
Compósito com EVA 2



Compósito com EVA 3



Compósito com EVA 4



Compósito com EVA 1, com uso de brita "0"

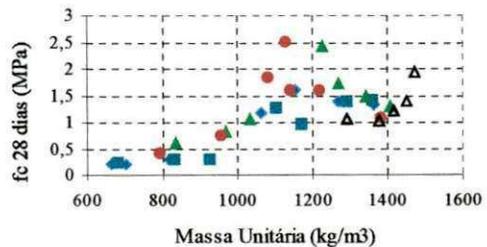


FIGURA 4.10 – Relação entre massa unitária para cada compósito pesquisado e suas resistências à compressão.

#### 4.2.4 Trabalhabilidade e consistência

Quando se analisa a trabalhabilidade de um concreto está-se fazendo uma avaliação em relação às condições e natureza da obra, e ao método de execução adotado. Portanto, um determinado concreto pode se apresentar trabalhável em uma situação e não ser adequado em outra situação. A consistência é a propriedade relacionada às condições de mobilidade e coesão entre os componentes da mistura no estado fresco (Garlet, 1998).

Todos os traços aqui ensaiados foram preparados para terem condições de trabalhabilidade para moldagem de blocos num determinado tipo de máquina utilizada pela pesquisa.

Por se tratar de um agregado leve, as condições de trabalhabilidade são diferentes das situações de quando se trabalha com agregados convencionais, tanto é que os ensaios convencionais de trabalhabilidade não se aplicam bem nesses casos. De qualquer forma, os ajustes realizados com os materiais utilizados permitiram evitar a ocorrência de segregação entre os componentes da mistura. Normalmente, observou-se que a pasta de cimento envolvia os grãos do agregado leve com facilidade e a porosidade destes grãos permitia à pasta penetrar em seu interior e, é provável, que isto tenha resultado em melhoria na resistência mecânica. Além do mais, a água pré-absorvida pelos grãos de EVA pode ter contribuído para promover uma cura interna para os compósitos avaliados.

Verificou-se que as misturas com 90% e 100% de agregado de EVA apresentaram-se muito sensíveis para moldagem dos blocos. A falta de finos pode ter dificultado a ocorrência de uma boa coesão entre seus componentes. Os blocos preparados com teor de 100% de EVA ao saírem da máquina de moldagem apresentaram imediatamente deformações em sua superfície que deve ser proveniente da grande quantidade de material leve, ocasionando uma certa acomodação dos grãos, deixando as paredes dos blocos com “barriga”; portanto isto inviabiliza sua aplicação. Este fato não ocorreu com os demais teores.

Os blocos com 90% de agregado leve submetido ao tratamento térmico (EVA 3 e EVA 4) e os blocos com 80% e 90% de agregado leve sem tratamento térmico

(EVA 1 e EVA 2) apresentaram-se muito frágeis para serem manuseados. Os blocos com outros teores apresentaram condições normais de manuseio.

#### **4.2.5 Resistência à compressão simples**

Garlet (1998) verificou para os teores escolhidos em seu experimento (60%, 70%, 80% e 100% de EVA) que à medida que se aumenta o teor de EVA, a resistência diminui em uma relação praticamente linear (ver Tabela 2.6).

Na presente pesquisa, a avaliação com uma faixa maior de variação de teores de EVA (de 40 a 100%) pôde-se observar que existe um “ponto ótimo” de teor de EVA que, combinado aos outros agregados, resulta em uma mistura mais resistente. Por ser uma propriedade importante do concreto com agregado leve é justificável analisar de maneira detalhada como os traços aqui apresentados comportam-se quanto à resistência à compressão simples. A análise foi realizada tanto em corpos-de-prova cilíndricos como nos próprios blocos e seguiu o procedimento apresentado na metodologia experimental (Item 3.4).

Através da análise de variância (teste F), verificou-se que, para 1% de probabilidade há uma diferença significativa na interação entre granulometria e teores de EVA (Tabelas B6 e B7 do anexo B) e na interação entre tratamento térmico e teores de EVA (Tabela B8 do anexo B) para todos os compósitos estudados nesta pesquisa. Isto significa dizer que os fatores são dependentes e, assim, foi procedido o estudo de um fator dentro de cada nível do outro, conforme apresentado a seguir.

##### **4.2.5.1 Análise 1 (compósitos com agregado EVA 1 e com agregado EVA 2)**

Estudando-se o efeito da granulometria dentro de teores de EVA para os corpos-de-prova cilíndricos, verifica-se pelo teste de Tukey que apenas nas médias com 40% e 60% existem diferenças significativas nas resistências para 5% de probabilidade (Tabela B6a do anexo B). Fazendo o mesmo estudo para os blocos, verifica-se que apenas na média com 60% existe diferença significativa; para os demais teores não houve diferença significativa (Tabela B6b do anexo B).

Portanto, a resistência praticamente não foi influenciada quando se usa agregado leve com  $D_{m\acute{a}x}=9,5\text{mm}$  e  $D_{m\acute{a}x}=4,8\text{mm}$ .

Os resultados desta análise podem ser comprovados colocando os valores da resistência desses dois compósitos em um mesmo gráfico (Figura 4.11). Observa-se que em alguns pontos as curvas quase que se sobrepõem.

A partir dessa constatação, o autor sugere que se utilize agregado leve com  $D_{m\acute{a}x}=9,5\text{mm}$ , pois é menos onerosa sua obtenção comparada com a obtenção do agregado leve com  $D_{m\acute{a}x}=4,8\text{mm}$ . Vale lembrar que o acabamento superficial dos blocos que usa agregados mais finos é mais liso, ou seja, com menor rugosidade.

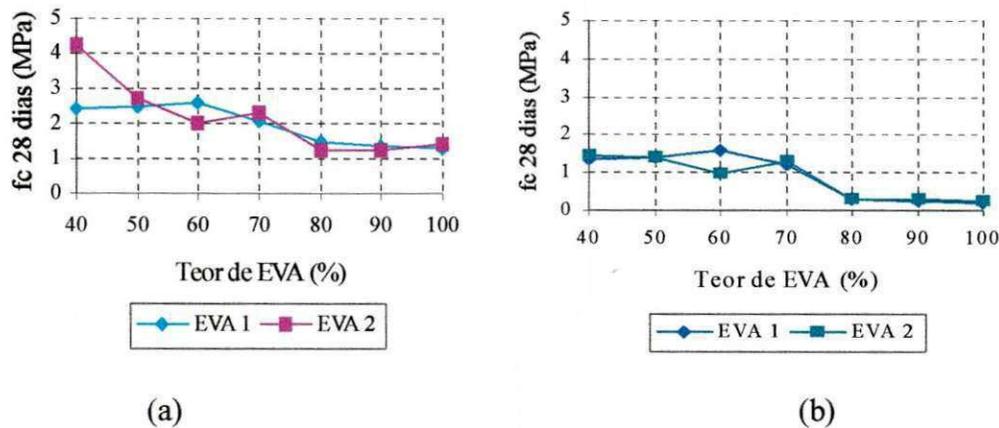


FIGURA 4.11 – Comparação entre os resultados da resistência do concreto com agregado EVA 1 e da argamassa com agregado EVA 2. (a) em corpos-de-prova cilíndricos; (b) em blocos.

Estudando-se o efeito de teores de EVA dentro da granulometria para os corpos-de-prova cilíndricos do compósito usando agregado de EVA 1, verifica-se pelo teste de Tukey que nos teores com 40%, 50%, 60% e 70% não existem diferenças significativas para 5% de probabilidade e que a partir deste ponto começa a diminuir a resistência, sendo que para valores mais elevados de teores de EVA não há diferença significativa (Tabela B6a do anexo B). Garlet (1998) avaliando corpos-de-prova de agregado de EVA com a mesma granulometria ( $D_{m\acute{a}x}=9,5\text{mm}$ ) do EVA 1 desta pesquisa, também verificou que as alterações da resistência à compressão são menos significativas para teores de EVA mais elevados.

Fazendo-se uma análise similar para o bloco, verificou-se que os teores de 50% e 60% não diferem estatisticamente entre si e são superiores aos demais, e que

para valores mais elevados de teores de EVA não há diferença significativa (Tabela B6b do anexo B).

Essa análise pode ser visualizada na Figura 4.12, quando se observa o mesmo comportamento nas curvas para corpos-de-prova e para blocos. Inicialmente, há um pequeno ganho de resistência quando os teores de EVA aumentam de 40% até 60%, sendo este o ponto de maior resistência. A partir de 60% até valores de 80% de EVA a resistência diminui significativamente e com valores mais altos de EVA (acima de 80%) na mistura, a resistência continua caindo, porém de forma mais suave.

Pode-se observar também na Figura 4.12 que os blocos se apresentaram com menor resistência que os corpos-de-prova. Este fato acontece com todos os traços pesquisados, o que traduz a diferença das condições de adensamento da mistura em situações com moldagem de corpos-de-prova e moldagem dos blocos. Evidentemente, outros fatores, tais como forma, dimensão, etc, também contribuem para explicar essas diferenças.

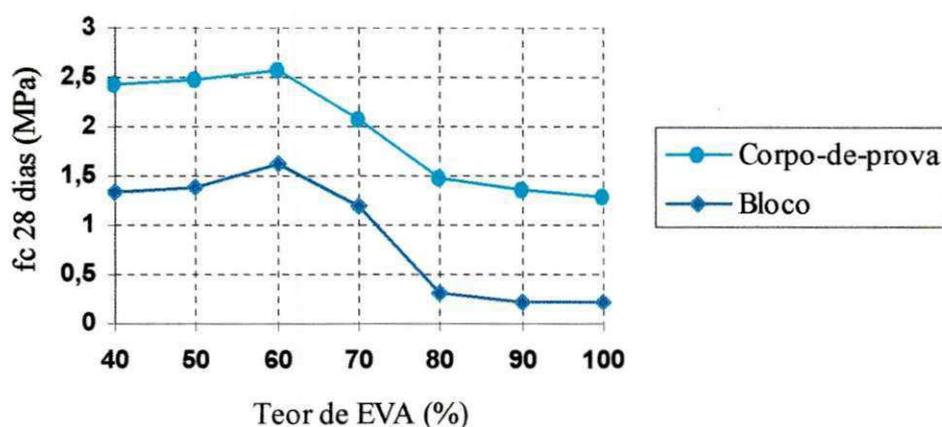


FIGURA 4.12 – Resistência à compressão do compósito em função do teor de agregado leve para o compósito usando agregado de EVA 1.

Com relação ao efeito dos teores de EVA dentro da granulometria para os corpos-de-prova cilíndricos usando compósito com agregado de EVA 2, pode-se afirmar pelo teste de Tukey que a média da resistência para o teor de 40% de EVA é estatisticamente superior às médias dos demais teores para 5% de probabilidade. Verifica-se também, que nas médias com teores de EVA de 80%, 90% e 100% não existem diferenças significativas entre elas (Tabela B6a do anexo B). No caso de blocos, observa-se que, estatisticamente, as maiores resistências encontram-se para

valores até teores de 70% de EVA, conforme o teste de Tukey (Tabela B6b do anexo B).

Os resultados desta análise podem ser mais bem visualizados através da Figura 4.13. Verifica-se que tanto para corpos-de-prova como blocos existe uma tendência da resistência decrescer à medida que se eleva o teor de EVA para os níveis avaliados e que as alterações da resistência à compressão para valores elevados de EVA são praticamente insignificativas.

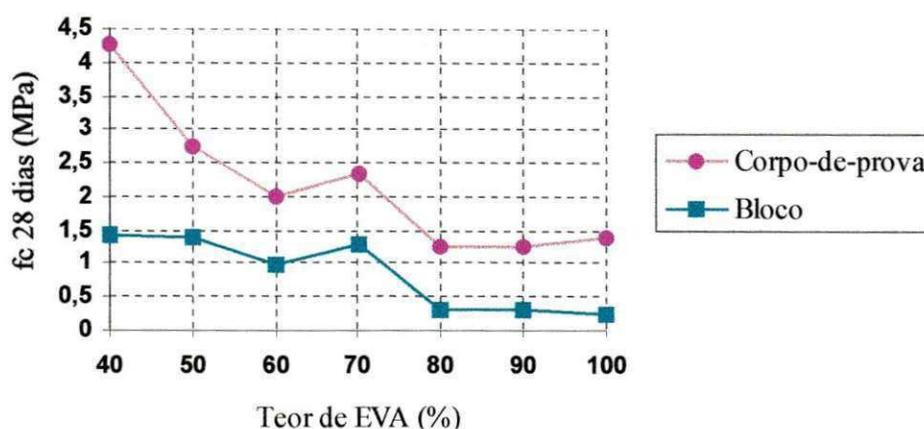


FIGURA 4.13 - Resistência à compressão do compósito em função do teor de agregado leve para o compósito usando agregado de EVA 2.

#### 4.2.5.2 Análise 2 (compósitos com agregado EVA 3 e com agregado EVA 4)

Ao se analisar os compósitos com tratamento térmico, observa-se que neste caso ocorre, também, uma interação significativa entre os fatores granulometria e teores de EVA, segundo a análise de variância (Tabela B7 do anexo B).

Estudando-se o efeito da granulometria dentro de teores de EVA para os corpos-de-prova cilíndricos, verifica-se pelo teste de Tukey que apenas nas médias com 70%, 80% e 100% existem diferenças significativas nas resistências para 5% de probabilidade (Tabela B7a do anexo B). Fazendo o mesmo estudo para os blocos, verifica-se que ocorre alteração entre os valores das médias das resistências dos dois tipos de concreto avaliados (Tabela B7b do anexo B).

A análise estatística mostra que o fator teor de EVA é o maior responsável pela alteração na resistência. As duas granulometrias (EVA 3 e EVA 4) avaliadas estão bem próximas uma da outra e, portanto, parece que não interferiram muito no

resultado da resistência destas amostras, conforme pode ser comprovado pela observação da Figura 4.14.

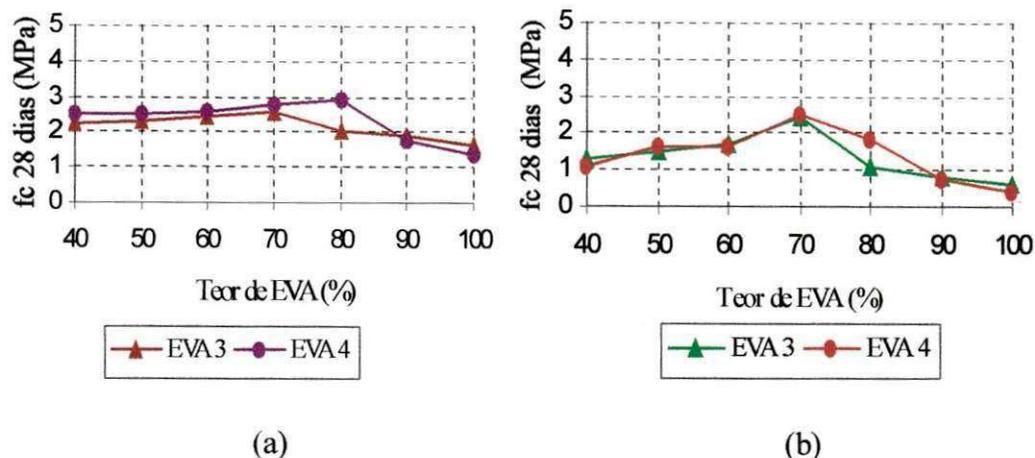


FIGURA 4.14 – Comparação entre os resultados da resistência do concreto de agregado EVA 3 e do concreto de agregado EVA 4. (a) em corpos-de-prova cilíndricos; (b) em blocos.

Estudando-se o efeito de teores de EVA dentro da granulometria para os corpos-de-prova cilíndricos do compósito usando agregado de EVA 3, observa-se pelo teste de Tukey que os melhores resultados na resistência estão até os teores de 70% de EVA, para 5% de probabilidade (Tabela B7a do anexo B). No caso de blocos, observa-se que a média com teor de EVA de 70% é estatisticamente superior às demais (Tabela B7b do anexo B).

Os resultados desta análise podem ser visualizados pela Figura 4.15. Pode-se perceber que existe realmente um ponto que caracteriza a melhor proporção entre os materiais da mistura. A resistência melhora até um certo valor de teor de EVA (neste caso 70%) e a partir daí diminui à medida que se eleva o teor de EVA.

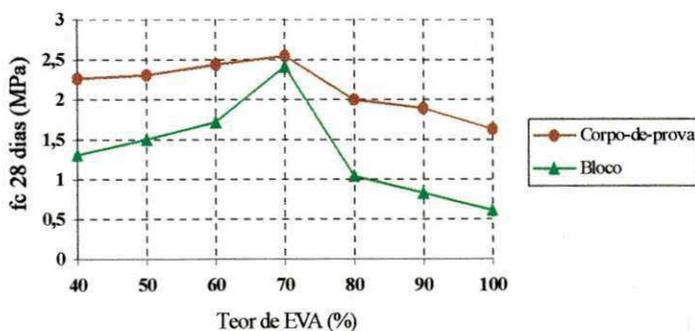


FIGURA 4.15 - Resistência à compressão do compósito em função do teor de agregado leve para o compósito usando agregado de EVA 3.

Estudando-se o efeito de teores de EVA dentro da granulometria para os corpos-de-prova cilíndricos do compósito usando agregado de EVA 4, verificou-se pelo teste de Tukey, para 5% de probabilidade, que a resistência aumenta lentamente à medida que se eleva o teor de EVA até o teor de 80% e a partir deste ponto a resistência diminui sensivelmente, sendo os teores 60%, 70% e 80% de EVA estatisticamente iguais (Tabela B7a do anexo B). Fazendo-se uma análise similar para o bloco, verificou-se ser o teor de 70% de EVA estatisticamente superior aos demais (Tabela B7b do anexo B). Pode-se observar essa análise através da Figura 4.16. Percebe-se que realmente existe um ponto em que o teor de EVA melhor se adapta à mistura para garantir maiores resistências.

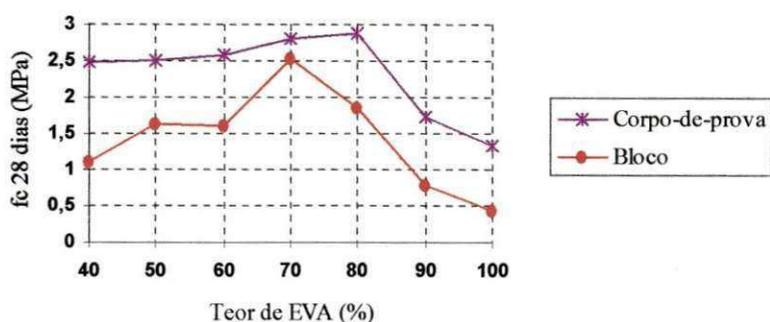


FIGURA 4.16 - Resistência à compressão do compósito em função do teor de agregado leve para o compósito usando agregado de EVA 4.

#### 4.2.5.3 Análise 3 (compósitos com agregado EVA 1 e com agregado EVA 3)

Para verificar se o tratamento térmico exerce alguma influência na resistência do compósito, fez-se a comparação entre os resultados das médias das resistências encontradas no concreto de agregado EVA 1 com as do concreto de agregado EVA3, visto que ambos possuem a mesma granulometria.

Estudando-se o efeito do tratamento térmico dentro de teores de EVA pelo teste de Tukey, verifica-se que tanto em corpos-de-prova cilíndricos como nos blocos, de 40% a 60% de teores de EVA as médias dos dois compósitos são, para 5% de probabilidade, estatisticamente iguais; porém para valores elevados de teores de EVA (acima de 70%), o teste mostra que as diferenças entre as médias dos dois compósitos são significativamente diferentes, sendo as resistências do compósito com tratamento térmico (EVA 3) melhores que às médias do compósito que usou agregado sem tratamento térmico (EVA 1) (Tabela B8 do anexo B).

Os resultados desta análise podem ser comprovados pela observação da Figura 4.17. É possível observar que as diferenças entre as resistências dos dois compósitos ensaiados tornam-se maiores para teores de agregado de EVA mais elevados.

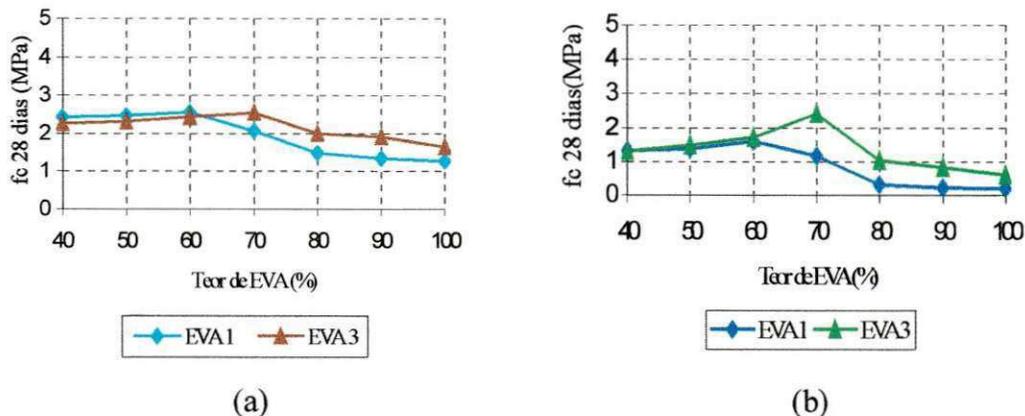


FIGURA 4.17 – Comparação entre os resultados da resistência do concreto de agregado EVA 1 e do concreto de agregado EVA 3. (a) em corpos-de-prova cilíndricos; (b) em blocos.

Pode-se observar ainda, através do teste de Tukey (Tabela B8 do anexo B), através do efeito de teores de EVA dentro do tratamento térmico que, quando usado agregado sem tratamento térmico (EVA 1), os teores ótimos (melhores resistências) de EVA valem 60% e quando se utilizou agregado com tratamento térmico, esse valor passa a ser 70% de teor de EVA. Esse fato pode ser explicado pela maior densidade dos grãos com tratamento térmico que proporciona um compósito mais denso, além de diminuir a absorção de água. É interessante notar que o tratamento térmico do material triturado (EVA) possibilitou um maior aproveitamento do resíduo, acumulando dois fenômenos que contribuem da mesma forma:

- 1 – o tratamento térmico reduz o volume das partículas de EVA;
- 2 – o tratamento térmico permite um maior teor de EVA (70%) incorporado nos compósitos.

#### 4.2.5.4. Análise 4 (compósitos com EVA 1, comparação sem e com brita “0”)

Foram preparados alguns traços utilizando agregado de EVA 1 em que se acrescentou brita “0” substituindo parte do agregado leve (Traços C<sub>8</sub>; C<sub>9</sub>; C<sub>10</sub>; C<sub>11</sub> e C<sub>12</sub>, ver Tabela 4.10).

Todos os resultados mostraram que a presença da brita “0” fez piorar a resistência do compósito quando testado em corpos-de-prova (Tabelas B9a, B10a, B11a, B12a e B13a do anexo B). Para os blocos, quando são comparados  $C_2$  com  $C_{11}$  (Tabela B10b do anexo B) e quando são comparados  $C_1$  com  $C_{12}$  (Tabela B13b do anexo B) não há diferença significativa na resistência com a presença da brita “0” nestas proporções. Para os outros traços, a resistência dos blocos caiu de forma significativa, para um nível de significância de 1%, quando se adicionou a brita “0” (Tabelas B9b, B11b e B12b do anexo B).

Estes resultados demonstraram que as colocações da brita “0” nas proporções escolhidas nestes traços não foram boas. É bem provável que a relação a/agl escolhido não tenha sido o melhor para garantir bom adensamento à mistura, pois o que se esperava é que a brita pudesse melhorar a resistência. O autor sugere que outras combinações de traços devam ser testadas, para se obter concretos com maiores resistências.

#### **4.2.6 Absorção de água por imersão**

O valor encontrado para a absorção de um componente pode variar conforme o método aplicado. Nesta pesquisa, optou-se em realizar o ensaio em blocos inteiros, conforme MB-3459, por achar que representa melhor a realidade quando comparado com ensaios feitos em amostras tipo corpos-de-prova cilíndricos ou pedaços testemunhos.

Na Figura 4.18 observa-se a relação entre os valores de absorção de água para os teores de agregado de EVA nos compósitos. Pode-se observar que existe uma tendência da absorção aumentar à medida que se eleva o teor de EVA na mistura. Os compósitos com agregados leves sem tratamento térmico (EVA 1 e EVA 2) são em média os que possuem maiores valores de absorção e neles o acréscimo da absorção com o teor de EVA ocorre de forma mais acentuada do que nos compósitos que usaram agregados com tratamento térmico (EVA 3 e EVA 4).

A diferença entre a maior e a menor absorção de água é bem menor quando se utilizou agregado EVA 3 e EVA 4, ou seja, agregados que passaram por tratamento térmico. Quando os teores de EVA nos compósitos são elevados, o efeito térmico no

tratamento do agregado de EVA foi mais importante reduzindo a absorção de água para valores próximos a 10%.

A análise de variância mostra que, para um nível de significância de 1% pelo teste de F, há diferença significativa na absorção em todos os compósitos avaliados, devido à variação nos teores de EVA presentes na mistura. Pelo teste de Tukey, observa-se que em todos os compósitos, o teor de 100% é o que difere significativamente dos demais teores (maiores valores), exceto para o compósito com EVA 1, em que a absorção nos teores de 90% e 100% apresentam-se estatisticamente iguais. Portanto, os valores mais elevados de EVA foram os que apresentaram maior absorção de água (Tabela B14 à B18 do anexo B). Este fato já era esperado, devido a maior presença do agregado poroso.

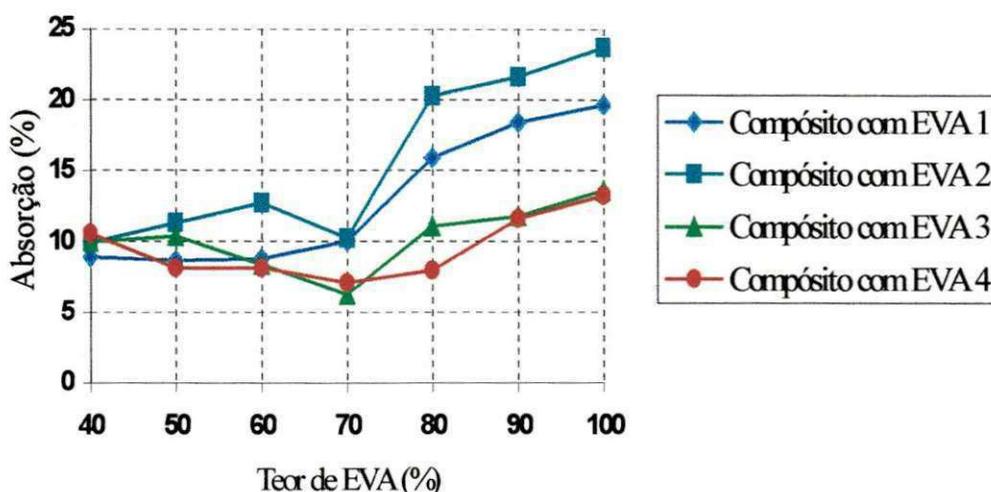
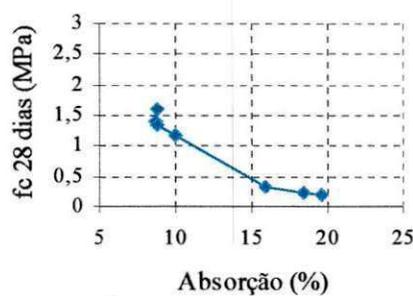


FIGURA 4.18 – Relação entre a absorção de água em todos os compósitos pesquisados e a percentagem de agregado de EVA.

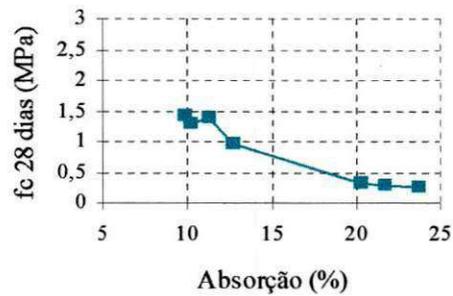
Pela Figura 4.19 pode-se verificar que existe uma correlação entre a absorção e a resistência que o compósito apresenta, isto é, resistência e absorção são grandezas inversamente proporcionais. Este comportamento só não se verificou no compósito que se adicionou brita “0”, provavelmente este fato foi devido à pequena quantidade de EVA utilizado nestas misturas e, portanto, neste caso a resistência está relacionada, também, a outros fatores, como por exemplo, as condições de adensamento.

Fazendo a análise de correlação com a absorção de água para cada compósito e suas resistências obtêm-se os seguintes coeficientes de correlação:  $r=-0,96$  ( $p<0,01$ )

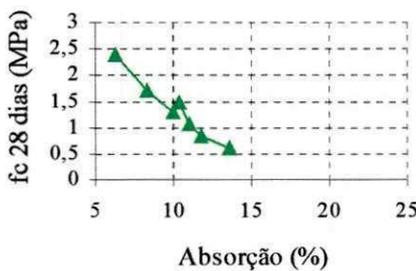
para compósito com EVA 1;  $r = -0,97$  ( $p < 0,01$ ) para compósito com EVA 2;  $r = -0,98$  ( $p < 0,01$ ) para compósito com EVA 3;  $r = -0,95$  ( $p < 0,01$ ) para compósito com EVA 4 e  $r = -0,30$  ( $p > 0,05$ ) para compósito com EVA 1 adicionado brita "0". Esta análise comprova que existe uma boa correlação linear e negativa entre absorção e resistência. Com exceção para o compósito com EVA 1 adicionando brita "0", pois neste caso não houve correlação para o nível de significância considerado, que foi 5%.



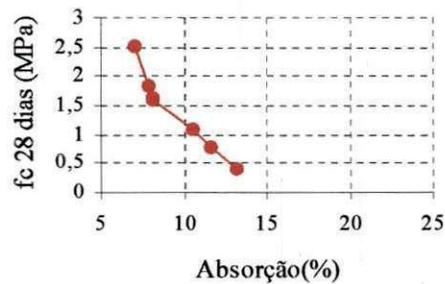
Compósito com EVA 1



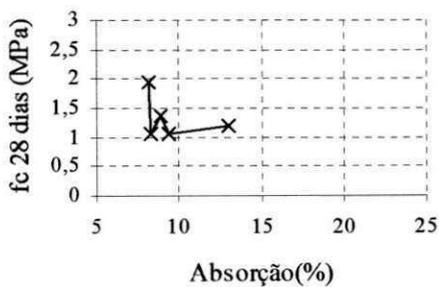
Compósito com EVA 2



Compósito com EVA 3



Compósito com EVA 4



Compósito com EVA 1, com uso de brita "0"

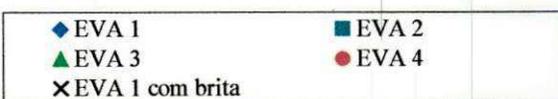
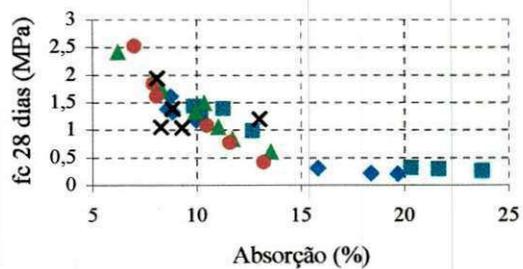


FIGURA 4.19 – Relação entre a absorção de água para cada compósito pesquisado e suas resistências à compressão.

### 4.3 Traços Sugeridos para a Moldagem de Blocos

Os blocos aqui apresentados são novos componentes construtivos alternativos e, portanto, não existem normas específicas para eles. Como referência foram adotadas a norma para blocos de concreto (NBR 7173) e a norma para blocos cerâmicos (NBR 7171), conforme Tabela 4.14.

TABELA 4.14 – Valores admissíveis para resistência à compressão e absorção de água para blocos de vedação.

Resistência à compressão simples	NBR 7173	Média $\geq 2,5$ MPa Individual $\geq 2,0$ MPa
	NBR 7171	Média $\geq 1,0$ MPa
Absorção de água	NBR 7173	Média $\geq 10\%$ Individual $\geq 15\%$

São apresentados na Tabela 4.15 os seguintes traços como sugestões para moldagem de blocos de vedação, com base na análise dos resultados obtidos nesta pesquisa:

TABELA 4.15 – Traços sugeridos para fabricação de blocos de vedação.

Traço	tipo de EVA	$D_{\text{máx}}$ (mm)	traço unitário (cim: areia: EVA, em volume)	$f_{c28 \text{ dias}}$ (MPa)	absorção (%)
*CT <sub>11</sub>	EVA 4	6,3	1: 0,9 (30%): 2,1 (70%)	2,53	7,03
*CT <sub>4</sub>	EVA 3	9,5	1: 0,9 (30%): 2,1 (70%)	2,41	6,22
**C <sub>3</sub>	EVA 1	9,5	1: 1,2 (40%): 1,8 (60%)	1,61	8,77

\* agregado com tratamento térmico; \*\* agregado sem tratamento térmico.

De todos os traços analisados, apenas o traço CT<sub>11</sub> apresentou resistência à compressão mínima exigida pela NBR 7173. Ele também atende às exigências quanto à absorção de água. O custo adicional com tratamento térmico dado ao agregado leve pode ser um obstáculo na obtenção desse bloco. Mas se deve considerar a vantagem resultante do maior aproveitamento do resíduo como medida importante para reduzir o problema ambiental.

Como neste bloco 70% do volume do agregado é composto de resíduo, e como o tratamento térmico provoca uma redução de aproximadamente 4 vezes o volume inicial do resíduo, tem-se para um bloco produzido um consumo em torno de  $13\text{dm}^3$  de resíduo. Portanto, pode-se justificar seu uso, quando a indústria de calçados gera um volume expressivo de resíduos, e a simples produção de blocos sem fazer o tratamento térmico não seja suficiente para consumir toda demanda de resíduo gerado. Neste caso, a participação da indústria implantando meios técnicos para se fazer a retração do resíduo de EVA através de tratamento térmico torna-se algo decisivo para que se possa viabilizar economicamente a produção de blocos de EVA, em condições técnicas que satisfaça a norma de bloco vazado de concreto simples para alvenaria sem função estrutural (NBR 7173).

Pode-se ter uma economia de energia no processo de trituração do agregado, comparado ao traço  $\text{CT}_{11}$ , se optar pelo traço  $\text{CT}_4$ , devido o agregado de origem deste possuir granulometria maior (EVA 5 com  $D_{\text{máx}} = 12,5\text{mm}$ ) que a do primeiro (EVA 1 com  $D_{\text{máx}} = 9,5\text{mm}$ ). Porém, o  $\text{CT}_4$  possui resistência inferior ao  $\text{CT}_{11}$  e não atinge à resistência exigida pela norma de blocos de concreto. Por outro lado, a resistência do compósito  $\text{CT}_4$ , certamente é compatível com as condições normais de manuseio e para atender a função de vedação.

Dos três traços, o mais econômico é o traço  $\text{C}_3$ , pois o agregado leve não passou por tratamento térmico, apenas pelo processo de trituração. Este também não atingiu os padrões de resistência da NBR 7173, mas possui nível de absorção de acordo com a norma e resistência maior que a permitida para blocos de cerâmica e possui perfeitas condições de manuseio. Entretanto, cada bloco tem um consumo médio de  $3\text{dm}^3$  de resíduo, portanto bem inferior que o  $\text{CT}_{11}$ .

Vários outros traços apresentaram-se em condições de uso, apesar de não atingirem à resistência de norma para blocos de concreto. A grande maioria atingiu resistência maior que às exigidas para blocos de cerâmica (NBR 7171).

Apesar de existirem traços com resistências que satisfazem aos valores admissíveis pelas normas de referências, verifica-se que os blocos, de uma forma geral, possuem baixos valores de resistência. Esses valores baixos já eram esperados, por se tratar de um concreto que se utiliza agregado leve, portanto seu uso só se justifica para fins que não exigem maiores responsabilidades estruturais e se queira

aproveitar as suas características específicas, tais como isolamento térmico, devido a grande porosidade do material, principalmente para as densidades mais baixas.

Quanto à absorção, os três traços sugeridos atendem aos valores admissíveis pela norma de concreto.

Em relação ao acabamento superficial dos blocos, percebe-se que quanto menor a granulometria do agregado leve, melhor a sua estética. Na Figura 4.20 são mostrados alguns exemplos de blocos com concreto de EVA.

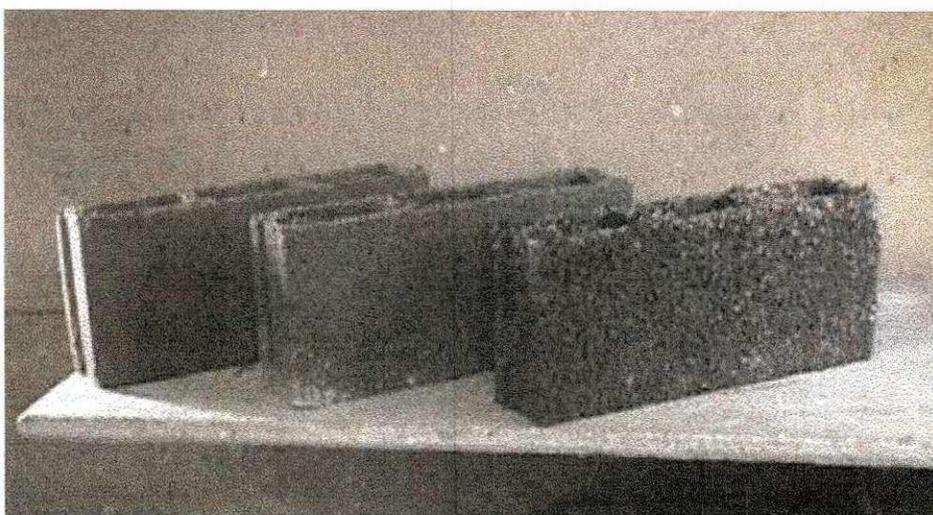


FIGURA 4.20 – Blocos de vedação com concreto de EVA.

Portanto, a produção de blocos de vedação sem função estrutural, adicionando agregado leve em proporções adequadas, que garanta o “nível ótimo”, torna-se tecnicamente viável, sob o ponto de vista de resistência à compressão e nível de absorção. Com esta afirmação, este trabalho representa uma contribuição às pesquisas sobre aproveitamento deste tipo de resíduo, apresentando mais uma atribuição ao uso dos agregados de EVA, pois ao ser aplicado em blocos, aumenta consideravelmente a possibilidade de se absorver um maior volume deste resíduo pela indústria da construção civil.

Além disso, vislumbra-se mais uma opção de material alternativo que pode ser aplicado, por exemplo, em mutirões habitacionais, ajudando a combater o déficit de moradias. Pode-se também ter aplicação em edifícios, contribuindo para alívio de cargas na estrutura devido a menor massa desses blocos em relação aos blocos convencionais.

Os blocos de EVA demonstraram ser facilmente cortados, serrados e furados, e isto torna viável a execução das instalações, embora deva-se fazer opção por sistemas de não interferência na execução de edifícios, adotando os esquemas de shafts.

Devido a existência de vazios na estrutura dos blocos, é de se esperar que os mesmos ao serem utilizados em um ambiente proporcione melhoria no conforto térmico, que é algo bem vindo nas regiões de temperatura alta.

Por outro lado, esta alta porosidade dos blocos permite a passagem do som e faz com que não se tenha um bom isolamento acústico, fato comprovado por Garlet (1998). Porém, este mesmo autor afirma que ao se fazer o revestimento da parede nos dois lados, tem-se um aumento considerável do nível de isolamento, sendo comparado ao de uma parede de alvenaria com blocos cerâmicos.

Quanto a absorção de som, os blocos de EVA podem trabalhar com bons resultados, devido sua rugosidade superficial.

#### **4.4 Outras Possíveis Aplicações do Concreto de EVA**

As propriedades deste resíduo dão ao concreto potencialidade para ser aplicado em outras situações. Vale lembrar que os resultados desta pesquisa apontam para aplicação do concreto de EVA apenas em situações sem função estrutural, portanto este concreto tem uso limitado. A seguir serão apresentadas algumas destas possíveis utilizações, porém devem ser feitos os ensaios específicos para cada utilidade e estudos de viabilidade econômica.

- painel pré-moldado – este componente deve apresentar uma maior produtividade que os blocos, por ser de maior dimensão. Deve ser observada a resistência mínima exigida;
- placa de forro-falso – este componente permitirá ao ambiente conforto térmico, devido a grande porosidade do material;
- piso de pátios – este componente pode ser aplicado em pátios de recreação, que poderá suavizar possíveis quedas de crianças devido a contribuição da propriedade elástica da borracha;

- pavimentação – este componente pode trabalhar como ante-derrapante. Deve ser observada a resistência mínima exigida;
- telhas – a combinação com fibra pode dar bons resultados.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

Com base na análise dos resultados obtidos, nos objetivos da pesquisa e no confronto com os dados da literatura, apresenta-se a seguir alguns tópicos conclusivos para esta dissertação, considerando os materiais utilizados no estudo experimental.

- A reciclagem do resíduo de EVA na construção civil deve começar através de um processo simples para triturar as aparas resultantes na fabricação de calçado, de modo a obter-se um agregado leve. O principal cuidado com a manipulação do agregado de EVA é a etapa de imersão em água antes de sua aplicação, para que o mesmo não absorva parte da água de amassamento durante a mistura;
- De uma forma geral, o traço 1:3 (cimento Portland: agregados, em volume) permite boas condições para fabricação de blocos de vedação sem deixá-los muito frágeis para serem manuseados (resistência à compressão maior do que 1MPa). A incorporação do resíduo de EVA como agregado leve pode ser até 70%, quando não se faz o seu tratamento térmico, ou até 80%, quando se faz tal tratamento;
- O tratamento térmico sobre o agregado de EVA, entendido como um banho em água a 100°C durante 30 minutos, provoca uma redução de quatro vezes no volume inicial, deixando o agregado mais denso, com melhoras importantes nas propriedades (resistência à compressão e absorção de água) dos blocos fabricados;
- Quando os teores de EVA nos compósitos são elevados, o efeito térmico do tratamento do agregado de EVA é mais importante, reduzindo a absorção de água das amostras para valores próximos de 10%;

- Para cada tipo de agregado de EVA existe um “teor ótimo” de incorporação, variando entre 60% e 70%, de acordo com a granulometria e a densidade dos grãos, que combinado com os agregados naturais resulta em misturas que proporcionam melhores resultados na resistência à compressão dos blocos;
- O teor ótimo quando se utilizam agregados de EVA após tratamento térmico são mais elevados, podendo chegar a 70%;
- Outros traços apresentam razoáveis condições de uso, apesar de não se atingir à resistência mínima exigida na norma para blocos de concreto. Esses valores baixos são esperados, por se tratar de compósito que utiliza agregados leves, sendo justificado o uso para fins não estruturais, como painéis de vedação e quando se pretende aproveitar as propriedades, tais como: isolamento térmico (interessante para regiões de clima quente) e leveza com redução das cargas nas estruturas dos edifícios;
- Os blocos propostos neste trabalho, com aproveitamento de resíduo de EVA são componentes construtivos alternativos sem normas específicas para eles. Dentre as variações estudadas e levando em conta a viabilidade técnica, pode-se propor pelo menos três possibilidades para produzir blocos de vedação:
  1. Utilizando um compósito cimentício (cimento Portland: areia: EVA) com traço 1:0,9:2,1 (em volume) com 70% de agregado de EVA obtido a partir da trituração do resíduo ( $D_{máx}=9,5\text{mm}$ ) sendo em seguida submetido à tratamento térmico ( $D_{máx}=6,3\text{mm}$ ) pode-se atingir a 2,5MPa de resistência à compressão e 7% de absorção de água;
  2. Utilizando um compósito cimentício (cimento Portland: areia: EVA) com traço 1:0,9:2,1 (em volume) com 70% de agregado de EVA obtido a partir da trituração do resíduo ( $D_{máx}=12,5\text{mm}$ ) sendo em seguida submetido a tratamento térmico ( $D_{máx}=9,5\text{mm}$ ) pode-se atingir 2,4MPa de resistência à compressão e 6% de absorção de água;

3. Utilizando um compósito cimentício (cimento Portland: areia: EVA) com traço 1:1,2:1,8 (em volume) com 60% de agregado de EVA obtido somente a partir da trituração do resíduo ( $D_{\text{máx}}=9,5\text{mm}$ ) pode-se atingir 1,6MPa de resistência à compressão e 9% de absorção de água;
- O custo adicional com tratamento térmico dado ao agregado EVA, presente nas duas primeiras possibilidades, pode a princípio significar um aumento no custo do beneficiamento do agregado, mas se deve considerar a importante vantagem, de forma acumulada (redução do volume das partículas e maior teor ótimo de incorporação de EVA nos compósitos), para o maior aproveitamento desse resíduo, o que contribui para reduzir o impacto ambiental provocado pela sua deposição inadequada;
  - A opção pela segunda possibilidade pode acrescentar uma economia de energia no processo de obtenção do agregado, desde que se trabalha com uma maior granulometria do EVA ( $D_{\text{máx}} = 12,5\text{mm}$ ), portanto com um menor tempo durante o processo de trituração do resíduo;
  - Das três possibilidades, a terceira é a mais econômica, pois o agregado leve (EVA) é obtido apenas pelo processo de trituração sem tratamento térmico. Entretanto, deve-se destacar as maiores resistências à compressão obtidas nas duas primeiras possibilidades, que utilizam agregados com tratamento térmico;
  - As três possibilidades atendem aos limites máximos de absorção de água exigidos na norma para blocos de concreto;
  - Na hipótese da utilização dos blocos propostos neste trabalho (considerando a primeira possibilidade com resíduo triturado com  $D_{\text{máx}}=9,5\text{mm}$ , que em seguida passa para  $D_{\text{máx}}=6,3\text{mm}$  devido ao tratamento térmico) para construir um conjunto habitacional com 1000 casas populares ( $45\text{m}^2/\text{casa}$ ) pode-se estimar um aproveitamento total de  $20.000\text{m}^3$  ( $\sim 2.500\text{tf}$ ) de resíduos de EVA triturado para

produzir os agregados leves, levando em conta que se tem um consumo máximo de 13dm<sup>3</sup>/bloco e 1.500 blocos/casa.

- Em relação ao acabamento superficial dos blocos, percebe-se que quanto menor a granulometria do agregado de EVA, melhor é esse acabamento, embora seja sempre recomendado realizar os revestimentos tradicionais (chapisco, emboço e reboco) nos painéis de vedação. A propósito, a superfície rugosa obtida nos blocos com uso de agregados de EVA com maior granulometria pode ser interessante para evitar o chapisco na etapa de revestimento;
- Os blocos de EVA demonstraram ser facilmente cortados, serrados e furados, e isto torna viável a execução das instalações.

### **Sugestões para Futuras Pesquisas**

- Fazer um estudo de avaliação ambiental, com atenção primordial quanto ao possível fenômeno de lixiviação;
- Realizar uma análise de viabilidade econômica para blocos de vedação com resíduos de EVA incorporados;
- Avaliar a resistência ao fogo de painéis de vedação executados com blocos de EVA;
- Testar outras combinações de compósitos cimentícios usando o cascalho em conjunto com o agregado de EVA e areia;
- Desenvolver técnica industrial para se fazer um tratamento que aumente a densidade do resíduo de EVA (efeito semelhante ao tratamento térmico) para melhorar às condições de resistência do agregado;

- Desenvolver proposta de parceria com as empresas geradoras de resíduo EVA, de modo que elas assumam o compromisso com parte dos custos de beneficiamento dos resíduos;
- Estudar a possibilidade de aproveitamento de agregados artificiais gerados a partir do “resíduo” dos blocos de EVA (reciclabilidade);
- Construir protótipos em alvenarias usando os blocos com os três traços sugeridos nesta pesquisa, para verificar em condições reais de uso quanto as condições de construção e estudo pós-ocupacional (conforto térmico, acústico).

## CAPÍTULO 6

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI 213R-87, Guide for structural lightweight aggregate concrete, ACI Manual of Concrete Practice, part 2: Constru The Institution of Structural Engineers and the concrete Society, Guide: Structural Use of Lightweight Aggregate Concrete, p. 58 London, oct. 1987 (apud Neville, 1997).

ACI 201.2R-92, Guide to durable concrete, ACI Manual of Concrete Practice, part 1: Materials and General Properties of Concrete, 41 pp. Detroit, Michigan, 1994 (apud Neville, 1997).

ALBRECHT, H. **Concretos leves**. Porto Alegre: Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul, 1968, 11p. (apud Garlet, 1998).

ALLEN, D. T.; ROSSELOT, K. S. Pollution preventio at the macro scale: flows of wastes, industrial ecology and life cycle analysis. **Waste Management**, v.14, n.3 e 4, p.317-328, 1994. (apud John, 2000).

ÂNGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo, 2000. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 4., São Paulo, 5-6 jun., 2001. **Anais**. São Paulo: IBRACON, 2001. p.43-56.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária – NBR 7251**. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. **Agregado em estado compactado seco – Determinação da massa unitária NBR 7810**. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. **Agregado para concreto NBR 7211**. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. **Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis - NBR 7218**. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos - NBR 7219**. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **Agregados - Determinação da composição granulométrica - NBR 7217**. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **Agregados - Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo - NBR 9937**. Rio de Janeiro, 1987.

- \_\_\_\_\_. **Amostragem de resíduos - NBR 10007.** Rio de Janeiro, 1987.
- \_\_\_\_\_. **Bloco cerâmico para alvenaria - NBR 7171.** Rio de Janeiro, 1992.
- \_\_\_\_\_. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida - MB 3459.** Rio de Janeiro, 1991.
- \_\_\_\_\_. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural Determinação da resistência à compressão - NBR 7184.** Rio de Janeiro, 1992.
- \_\_\_\_\_. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural - NBR 7173.** Rio de Janeiro, 1992.
- \_\_\_\_\_. **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica - NBR NM 23.** Rio de Janeiro, 2001.
- \_\_\_\_\_. **Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira nº200 - NBR 11579.** Rio de Janeiro, 1991.
- \_\_\_\_\_. **Cimento Portland - Determinação da finura pelo método da permeabilidade ao ar (Método de Blaine) - NBR NM 76.** Rio de Janeiro, 1998.
- \_\_\_\_\_. **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão - NBR 7215.** Rio de Janeiro, 1996.
- \_\_\_\_\_. **Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega - NBR 11581.** Rio de Janeiro, 1991.
- \_\_\_\_\_. **Cimento Portland - Determinação de perda ao fogo - NBR 5743.** Rio de Janeiro, 1989.
- \_\_\_\_\_. **Cimento Portland - Análise química por complexometria - NBR 9203.** Rio de Janeiro, 1985.
- \_\_\_\_\_. **Cimento Portland - Determinação de anidrido sulfúrico - NBR 5745.** Rio de Janeiro, 1989.
- \_\_\_\_\_. **Cimento Portland e matérias primas - Determinação de anidrido carbônico (CO<sub>2</sub>) por gasometria - NBR 11583.** Rio de Janeiro, 1991.
- \_\_\_\_\_. **Cimento Portland - Determinação de resíduo insolúvel - NBR 5744.** Rio de Janeiro, 1989.
- \_\_\_\_\_. **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone - NBR NM 67.** Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **Concreto - Determinação da consistência pelo espalhamento do tronco de cone - NBR 9606.** Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_. **Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman – NBR 9776.** Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto. NBR 5739.** Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **Lixiviação de resíduos - NBR 10005.** Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto - NBR 5738.** Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **Poliestireno expandido para fins de isolamento térmica – Determinação de absorção de água - NBR 7973.** Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. **Resíduos sólidos - NBR 10004.** Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **Solubilização de resíduos - NBR 10006.** Rio de Janeiro, 1987.

BREMNER, T. W. Concreto de agregado leve. **Téchne**, São Paulo: PINI, n.37, p.45-47, nov/dez. 1998. Trad. A. M. Andrade.

BREMNER, T. W.; HOLM, T. A. Elasticity, compatibility and the behavior of concrete. **ACI Journal**, n 2, p. 244-450, 1986. (apud Neville, 1997).

BREMNER, T. W. **Influences os aggregate structure on low desnsity concrete.** London, 1981. Tese de PHD - University of London. (apud Bremner, 1998).

CAUSE, G.; MONTENS, S. The Roize bridge. In: **HIGH PERFORMANCE CONCRETE: From Material to Structure.** Y. Malier (editor). London: E & FN Spon, 1992. p.525-536. (apud Neville, 1997).

CEB / FIP **Lightweight Aggregate Concrete.** Comité Euro – International du Béton / Fédération International de La Précontrainte. CEB/FIP. Manual of design and technology. New York, 17<sup>o</sup> ed. 1977. (apud Garlet, 1998).

CINCOTTO, M. A. Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. **Tecnologia das Edificações.** São Paulo: PINI, p.71-74. 1988.

COLLEPARDI, M. A durabilidade em questão. **Téchne**, São Paulo: Pini, n.38, p.52-57, jan/fev. 1999.

COLLINS, R.J. Upgrading the use of recycled aggregates. In: **CIB BUILDING CONGRESS – MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION.** Suíça, 1998. **Proceedings.** Suíça, 1998. p.101-106. (apud Ângulo, 2000).

CTCCA - Centro Tecnológico do Couro Calçados e Afins. **Cartilha do EVA**, Novo Hamburgo, 1993. (apud Garlet, 1998).

DE PAUW, C. Recyclage des Descombres d'Une Ville Sinistree. **CSTC**, revue n.4, p.12-28. dez., 1982. (apud Ângulo, 2000).

DESIMONE, L.; POPOFF, F. **Eco-efficienty – The business link to sustainable development**. Cambridge: MIT Press, 1998. 280p.

EPA **Chacaracterization of building-related construction and demolition debris in the United States**. EPA. Report n°EPA530-R-98-010.1998. 100p. (apud John, 2000).

GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de E.V.A. (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.

GARLET, G.; GREVEN, H. A. Aproveitamento de resíduos de E.V.A. da indústria calçadista na construção civil. In: **WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL**, São Paulo, 25-26 nov., 1996. **Anais**. São Paulo: EPUSP/ANTAC, 1997. p.87-92.

GIANSANTI, R. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Atual, 1998. 103p.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 11.ed. Piracicaba: Nobel, 1985. 466p.

GRÜN, R. **Zusammensetzung und Beständigkeit von 1850 Jahre altem Beton**. *Angewandte Chemie*, 1935. Nr. 7, S. 124-127. (apud Levy, 1997).

HARTLÉN, J. Environmental consequences using residues. In : **INT. SYMP. ON BULK "INERT" WASTE** (pre-prints of the papers). Leeds, 21-22 sept., 1995. Leeds: U. Leeds, 1995. (apud John, 2000);

HENDRIKS, C. F. Wiederverwendung von strassenaufbruch und Bauschutt in den Niederlanden. In: **INTERNATIONAL RECYCLING CONGRESS**, 4., Berlin, 1984. **Proceedings**. Berlin, 1984. p.972-977. (apud Levy, 1997).

HILLIER, S. R. et al. Long-term leaching of toxic trace metals from Portland cement concrete. **Cement and Concrete Research**, 29, 1999. p.515-521. (apud John, 2000).

HOLM, T. A. **Lightweight concrete and aggregates**. In: **Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-making Materials**, Eds. P. Klieger and J. F.

Lamont, ASTM Sp. Tech. Publ. N° 169C, p.522-532, Philadelphia, Pa, 1994. (apud Neville, 1997).

JOHN, V. M.; KRAAYENBRINK, E. A.; VAN VAMELEN, J. Upgrade ability: and added dimension to performance evaluation. In: INT. SYMP APPLICATIONS OF THE PERFORMANCE CONCEPT IN BUILDING, 3. Tel Aviv, 9-12 dec., 1996. Tel Aviv: CIB, 1996. (apud John, 2000).

JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar.** Disponível em: < <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/>>. Acesso em: 20 de nov. 2001. Texto técnico.

\_\_\_\_\_. 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, 1997. p.21-30.

\_\_\_\_\_. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** São Paulo, 2000. 113p. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

KARL, S. Shrinkage and creep of very lightweight concrete, **Darmstadt Concrete**, n.4, p.97-105, 1989 (apud Neville, 1997).

KAZMIERCZAK, C. S. Desenvolvimento de componentes para a construção civil a 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, 1997. p.83-86.

KERN, A. P. **Estudo da viabilidade da incorporação de resíduos de contrafortes de calçados em matriz de gesso para uso como materiais de construção civil.** Porto Alegre, 1999. 115p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LATTERZA, L. Reciclagem de resíduos, a arma do futuro. **ABGE em Revista**, São Paulo, n.82, p.12-13, set-out. 2000.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos.** São Paulo, 1997. 145p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LIDDLE, B. T. Construction for sustainability and the sustainability of the construction industry. In: CIB TG 16 Sustainable Construction. Tampa, Florida, November 6-9, 1994, p.47-56. (apud John, 2000).

LYDON, F. D. **Concrete Mix Design.** London, 1982. 198p. (Applied Science Publishers). (apud Neville, 1997).

MAISON – Indústria e Comércio de Artefatos de Cimento Ltda. Disponível em: <[www.britaleve.com.br](http://www.britaleve.com.br)>. Acesso em: 10 de out. 2001.

MALHOTA, V. M. **No-fine concrete - its properties and applications**. J. Amer. Concr. Inst., 73, n.11, p. 628-644, 1976. (apud Neville, 1997).

MAYS, G. C.; BARNES, R. A. **The performance of lightweight aggregate concrete structures in service**, The Structural Engineer, 69, n.20, p.351-361, 1991. (apud Neville, 1997).

MCLINTOSH, R. H., BOTTON, J. D.; MUIR, C. H. D. No-fines concrete a structural material, Proc. Inst. Civ. Engrs. Part 1, 5 No 6, p.677-694, London, nov. 1956. (apud Neville, 1997).

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. – **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1999. 616p.

MORENO, H. O foco ambientalista da construção civil. In: SEMINÁRIO MATERIAIS & DESIGN – Interface no desenvolvimento do produto, São Carlos, 1998. **Anais**. São Carlos: FIESP; UFSCAR; SEBRAE. 1998. p.174-182. (apud Ângulo et al., 2001).

MURATA, J. Design method of mix proportions of lightweight aggregate concrete. In: SYMP. ON TESTING AND DESIGN METHODS OF LIGHTWEIGHT AGGREGATE, CONCRETES, Budapest, mar., 1967. **Proceedings**. Budapest, 1967. p. 131-146. (apud Neville, 1997);

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

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997. Trad. Salvador E. Giamusso.

PEDRO, A. F. P. **Resíduos industriais: a responsabilidade do gerador**. Disponível em: <<http://www.pinheiropedro.com.br>>. Acesso em: 20 de dez. 2001.

POLITI, E.; VILHENA, A. **Reduzindo, reutilizando, reciclando: a indústria ecoeficiente**. São Paulo: CEMPRE-SENAI, 2000. 83p.

PREZOTTO et al. **Etileno acetato de vinila – EVA**. Planejamento e projeto da indústria química. Porto Alegre, nov., 1990, Escola de Engenharia - UFRGS, 256p. (Trabalho de conclusão das disciplinas de planejamento e projeto da indústria química I e II). (apud Garlet, 1998).

ROCCA et al. **Resíduos sólidos industriais**. Trabalho elaborado pelo corpo técnico da CETESB, 2ª ed. São Paulo, 1992.

SENAI – Serviço Nacional da Indústria – **Concreto Celular**. Departamento Regional – DF, Brasília, 1976, 70p. (apud GARLET, 1998).

SHORT, A.; KINNIBURGH, W. **Concreto ligero**. Editora Limusa – Wiley S. A., 1967 (apud Garlet, 1998).

SMEPLASS, S.; HAMMER, T. A.; NARUN, T. **Determination of the effective composition of LWA concretes**, Oslo: Nordic Concrete Research Publication, n.1, p.153-161, feb. 1992. (apud Neville, 1997).

SOBRAL, H. S. **Concretos leves. Tipos e comportamento estrutural**. São Paulo: ABCP, 1996. 24p. (Estudo Técnico).

SPRATT, B. H. **An introduction to lightweight concrete**. London: Cement and Concrete Association, 1960. (apud Garlet, 1998).

TOALDO, E. Para não virar pó. **Construção**, n.2348, p.10, fev., 1993. (apud Ângulo, 2000).

UNITED NATIONS. **Use of precast components in Masonry Building Construction**. United Nations, Department of economic and Social Affairs. New York, 1972. (apud Gralet, 1998).

VAN DER SLOOT, H. A.; HEASMAN, L.; QUEVAUVILLER, P. H. **Harmonization of leaching / extraction tests**. London: Elsevier, 1997. 281p. (apud John, 2000).

VAZQUEZ, E. Aplicación de nuevos materiales reciclados em la construcción civil In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 4., São Paulo, 5-6 jun., 2001. **Anais**. São Paulo: IBRACON, 2001. p.11-21.

VIRJLINBG, J. K. An economic model for the successful recycling of waste materials. In : WASTE MATERIALS IN CONSTRUCTION. Goumans; van der Sloot; Aalbers (editors). London: Elsevier, 1991. p.601-618. (apud John, 2000).

ZHANG, M. H.; GJORV, O. E. Permeability of high-strength lightweight concrete. **ACI Materials Journal**, n.2, p.150-158, 1991. (apud Neville, 1997).

WEDLER, B.; HUMMEL, A. **Trümmerverwertung und Ausbau von Brandruinen**. Berlin: Wilhelm Ernest & Sohn, 1946. (apud Levy, 1997).

WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL, São Paulo, 25-26 nov., 1996. **Anais**. São Paulo: EPUSP/ANTAC, 1997. 184p.

**VALORES DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES ( $f_c$ ) OBTIDOS À PARTIR DE CORPOS-DE-PROVA (5x10)cm**

<b>Concreto com EVA 1 (<math>D_{m\acute{a}x}</math> 9,5mm, EVA sem tratamento térmico)</b>														
	<b>Traço C<sub>1</sub></b>		<b>Traço C<sub>2</sub></b>		<b>Traço C<sub>3</sub></b>		<b>Traço C<sub>4</sub></b>		<b>Traço C<sub>5</sub></b>		<b>Traço C<sub>6</sub></b>		<b>Traço C<sub>7</sub></b>	
	40% EVA		50% EVA		60% EVA		70% EVA		80% EVA		90% EVA		100% EVA	
	$f_{c7dias}$	$f_{c28dias}$												
Nº de amostra (n)	n=6	n=6												
Média Amostral (MPa)	1,95	2,43	2,18	2,47	2,53	2,57	1,54	2,07	1,44	1,48	1,27	1,35	1,23	1,28
Erro Padrão (MPa)	± 0,13	± 0,12	± 0,15	± 0,02	± 0,18	± 0,04	± 0,11	± 0,06	± 0,01	± 0,01	± 0,03	± 0,09	± 0,05	± 0,05

<b>Concreto com EVA 1 adicionado brita "0" (<math>D_{m\acute{a}x}</math> 9,5mm, EVA sem tratamento térmico)</b>										
	<b>Traço C<sub>8</sub></b>		<b>Traço C<sub>9</sub></b>		<b>Traço C<sub>10</sub></b>		<b>Traço C<sub>11</sub></b>		<b>Traço C<sub>12</sub></b>	
	40% EVA		30% EVA		30% EVA		25% EVA		20% EVA	
	$f_{c7dias}$	$f_{c28dias}$	$f_{c7dias}$	$f_{c28dias}$	$f_{c7dias}$	$f_{c28dias}$	$f_{c7dias}$	$f_{c28dias}$	$f_{c7dias}$	$f_{c28dias}$
Nº de amostra (n)	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6
Média Amostral (MPa)	1,38	1,54	2,12	2,16	1,40	1,43	1,59	1,91	1,33	1,70
Erro Padrão (MPa)	± 0,07	± 0,10	± 0,18	± 0,17	± 0,13	± 0,12	± 0,15	± 0,07	± 0,04	± 0,02

<b>Argamassa com EVA 2 (<math>D_{m\acute{a}x}</math> 4,8mm, EVA sem tratamento térmico)</b>														
	<b>Traço A<sub>1</sub></b>		<b>Traço A<sub>2</sub></b>		<b>Traço A<sub>3</sub></b>		<b>Traço A<sub>4</sub></b>		<b>Traço A<sub>5</sub></b>		<b>Traço A<sub>6</sub></b>		<b>Traço A<sub>7</sub></b>	
	40% EVA		50% EVA		60% EVA		70% EVA		80% EVA		90% EVA		100% EVA	
	$f_{c7dias}$	$f_{c28dias}$												
Nº de amostra (n)	n=6	n=6												
Média Amostral (MPa)	3,11	4,25	2,32	2,73	1,37	1,98	1,82	2,32	1,25	1,26	1,22	1,25	1,28	1,39
Erro Padrão (MPa)	± 0,13	± 0,02	± 0,03	± 0,48	± 0,07	± 0,07	± 0,09	± 0,22	± 0,04	± 0,07	± 0,05	± 0,01	± 0,10	± 0,13





Concreto com EVA 4 ( $D_{\max}$ 6,3mm, EVA com tratamento térmico)														
	Traço CT <sub>8</sub>		Traço CT <sub>9</sub>		Traço CT <sub>10</sub>		Traço CT <sub>11</sub>		Traço CT <sub>12</sub>		Traço CT <sub>13</sub>		Traço CT <sub>14</sub>	
	40% EVA		50% EVA		60% EVA		70% EVA		80% EVA		90% EVA		100% EVA	
	$f_{c7\text{dias}}$	$f_{c28\text{dias}}$	$f_{c7\text{dias}}$	$f_{c28\text{dias}}$	$f_{c7\text{dias}}$	$f_{c28\text{dias}}$	$f_{c7\text{dias}}$	$f_{c28\text{dias}}$	$f_{c7\text{dias}}$	$f_{c28\text{dias}}$	$f_{c7\text{dias}}$	$f_{c28\text{dias}}$	$f_{c7\text{dias}}$	$f_{c28\text{dias}}$
Nº de amostra (n)	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6	n=6
Média Amostral (MPa)	0,78	1,09	1,55	1,62	1,51	1,61	1,98	2,53	1,65	1,85	0,75	0,77	0,34	0,42
Erro Padrão (MPa)	± 0,03	± 0,02	± 0,08	± 0,05	± 0,08	± 0,05	± 0,07	± 0,02	± 0,01	± 0,05	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01

VALORES DA ABSORÇÃO DE ÁGUA OBTIDOS À PARTIR DE BLOCOS (9x39x19)cm

Concreto com EVA 1 ( $D_{\max}$ 9,5mm, EVA sem tratamento térmico)							
	Traço C <sub>1</sub>	Traço C <sub>2</sub>	Traço C <sub>3</sub>	Traço C <sub>4</sub>	Traço C <sub>5</sub>	Traço C <sub>6</sub>	Traço C <sub>7</sub>
	40% EVA	50% EVA	60% EVA	70% EVA	80% EVA	90% EVA	100% EVA
Nº de amostra (n)	n=3						
Média Amostral (%)	8,86	8,64	8,77	10,00	15,86	18,41	19,67
Erro Padrão (%)	± 0,08	± 0,03	± 0,03	± 0,32	± 0,49	± 0,77	± 0,33

Concreto com EVA 1 adicionado brita "0" ( $D_{\max}$ 9,5mm, EVA sem tratamento térmico)					
	Traço C <sub>8</sub>	Traço C <sub>9</sub>	Traço C <sub>10</sub>	Traço C <sub>11</sub>	Traço C <sub>12</sub>
	40% EVA	30% EVA	30% EVA	25% EVA	20% EVA
Nº de amostra (n)	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3
Média Amostral (%)	8,28	8,11	9,31	8,83	13,01
Erro Padrão (%)	± 0,07	± 0,06	± 0,11	± 0,16	± 0,48

<b>Argamassa com EVA 2 (<math>D_{\text{máx}}</math> 4,8mm, EVA sem tratamento térmico)</b>							
	<b>Traço A<sub>1</sub></b>	<b>Traço A<sub>2</sub></b>	<b>Traço A<sub>3</sub></b>	<b>Traço A<sub>4</sub></b>	<b>Traço A<sub>5</sub></b>	<b>Traço A<sub>6</sub></b>	<b>Traço A<sub>7</sub></b>
	40% EVA	50% EVA	60% EVA	70% EVA	80% EVA	90% EVA	100% EVA
Nº de amostra (n)	n=3						
Média Amostral (%)	9,90	11,31	12,72	10,02	20,32	21,64	23,73
Erro Padrão (%)	± 0,02	± 0,06	± 0,55	± 0,05	± 0,66	± 0,08	± 0,04

<b>Concreto com EVA 3 (<math>D_{\text{máx}}</math> 9,5mm, EVA com tratamento térmico)</b>							
	<b>Traço CT<sub>1</sub></b>	<b>Traço CT<sub>2</sub></b>	<b>Traço CT<sub>3</sub></b>	<b>Traço CT<sub>4</sub></b>	<b>Traço CT<sub>5</sub></b>	<b>Traço CT<sub>6</sub></b>	<b>Traço CT<sub>7</sub></b>
	40% EVA	50% EVA	60% EVA	70% EVA	80% EVA	90% EVA	100% EVA
Nº de amostra (n)	n=3						
Média Amostral (%)	9,95	10,38	8,34	6,22	11,04	11,74	13,56
Erro Padrão (%)	± 0,10	± 0,19	± 0,01	± 0,10	± 0,16	± 0,08	± 0,09

<b>Concreto com EVA 4 (<math>D_{\text{máx}}</math> 6,3mm, EVA com tratamento térmico)</b>							
	<b>Traço CT<sub>8</sub></b>	<b>Traço CT<sub>9</sub></b>	<b>Traço CT<sub>10</sub></b>	<b>Traço CT<sub>11</sub></b>	<b>Traço CT<sub>12</sub></b>	<b>Traço CT<sub>13</sub></b>	<b>Traço CT<sub>14</sub></b>
	40% EVA	50% EVA	60% EVA	70% EVA	80% EVA	90% EVA	100% EVA
Nº de amostra (n)	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3
Média Amostral (%)	10,51	8,09	8,11	7,03	7,95	11,59	13,23
Erro Padrão (%)	± 0,89	± 0,30	± 0,02	± 0,18	± 0,30	± 0,10	± 0,03

**VALORES DA MASSA UNITÁRIA DO CONCRETO (NO ESTADO FRESCO)**

<b>Concreto com EVA 1 (<math>D_{\text{máx}} 9,5\text{mm}</math>, EVA sem tratamento térmico)</b>							
	<b>Traço C<sub>1</sub></b>	<b>Traço C<sub>2</sub></b>	<b>Traço C<sub>3</sub></b>	<b>Traço C<sub>4</sub></b>	<b>Traço C<sub>5</sub></b>	<b>Traço C<sub>6</sub></b>	<b>Traço C<sub>7</sub></b>
	40% EVA	50% EVA	60% EVA	70% EVA	80% EVA	90% EVA	100% EVA
Nº de amostra (n)	n=3						
Média Amostral ( $\text{kg/m}^3$ )	1362	1269	1153	1065	820	701	666
Erro Padrão ( $\text{kg/m}^3$ )	± 2	± 2	± 6	± 4	± 6	± 4	± 4

<b>Concreto com EVA 1 adicionado brita "0" (<math>D_{\text{máx}} 9,5\text{mm}</math>, EVA sem tratamento térmico)</b>					
	<b>Traço C<sub>8</sub></b>	<b>Traço C<sub>9</sub></b>	<b>Traço C<sub>10</sub></b>	<b>Traço C<sub>11</sub></b>	<b>Traço C<sub>12</sub></b>
	40% EVA	30% EVA	30% EVA	25% EVA	20% EVA
Nº de amostra (n)	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3
Média Amostral ( $\text{kg/m}^3$ )	1290	1472	1378	1449	1416
Erro Padrão ( $\text{kg/m}^3$ )	± 4	± 2	± 7	± 5	± 6

<b>Argamassa com EVA 2 (<math>D_{\text{máx}} 4,8\text{mm}</math>, EVA sem tratamento térmico)</b>							
	<b>Traço A<sub>1</sub></b>	<b>Traço A<sub>2</sub></b>	<b>Traço A<sub>3</sub></b>	<b>Traço A<sub>4</sub></b>	<b>Traço A<sub>5</sub></b>	<b>Traço A<sub>6</sub></b>	<b>Traço A<sub>7</sub></b>
	40% EVA	50% EVA	60% EVA	70% EVA	80% EVA	90% EVA	100% EVA
Nº de amostra (n)	n=3						
Média Amostral ( $\text{kg/m}^3$ )	1359	1290	1169	1104	925	831	682
Erro Padrão ( $\text{kg/m}^3$ )	± 3	± 5	± 6	± 5	± 2	± 2	± 2

**Concreto com EVA 3 ( $D_{\text{máx}}$  9,5mm, EVA com tratamento térmico)**

	<b>Traço CT<sub>1</sub></b>	<b>Traço CT<sub>2</sub></b>	<b>Traço CT<sub>3</sub></b>	<b>Traço CT<sub>4</sub></b>	<b>Traço CT<sub>5</sub></b>	<b>Traço CT<sub>6</sub></b>	<b>Traço CT<sub>7</sub></b>
	40% EVA	50% EVA	60% EVA	70% EVA	80% EVA	90% EVA	100% EVA
Nº de amostra (n)	n=3						
Média Amostral (kg/m <sup>3</sup> )	1407	1342	1268	1228	1034	970	838
Erro Padrão (kg/m <sup>3</sup> )	± 2	± 6	± 6	± 4	± 1	± 1	± 1

**Concreto com EVA 4 ( $D_{\text{máx}}$  6,3mm, EVA com tratamento térmico)**

	<b>Traço CT<sub>8</sub></b>	<b>Traço CT<sub>9</sub></b>	<b>Traço CT<sub>10</sub></b>	<b>Traço CT<sub>11</sub></b>	<b>Traço CT<sub>12</sub></b>	<b>Traço CT<sub>13</sub></b>	<b>Traço CT<sub>14</sub></b>
	40% EVA	50% EVA	60% EVA	70% EVA	80% EVA	90% EVA	100% EVA
Nº de amostra (n)	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3
Média Amostral (kg/m <sup>3</sup> )	1383	1219	1142	1126	1081	957	792
Erro Padrão (kg/m <sup>3</sup> )	± 6	± 1	± 4	± 5	± 2	± 3	± 3

**ANEXO B**  
**TABELAS DA ANÁLISE ESTATÍSTICA (Teste F e Teste de Tukey)**

TABELA B1: Análise de variância para a massa unitária do compósito com EVA 1.

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Teores de EVA	1392622,62	6	232103,76	4479,6865	**
Erro	725,37	14	51,81		
Total	1393348,00	20			

Coefficiente de Variação = 0,716%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

40%	1361,66699	a
50%	1269,33301	b
60%	1153,33301	c
70%	1064,66699	d
80%	820,00000	e
90%	701,00000	f
100%	666,00000	g

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B2: Análise de variância para a massa unitária do compósito com EVA 2.

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Teores de EVA	1107291,37	6	184548,56	3852,6445	**
Erro	670,62	14	47,90		
Total	1107962,00	20			

Coefficiente de Variação = 0,658%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

40%	1358,66699	a
50%	1290,00000	b
60%	1169,00000	c
70%	1103,66699	d
80%	924,66669	e
90%	831,33331	f
100%	681,66669	g

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B3: Análise de variância para a massa unitária do compósito com EVA 3.

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Teores de EVA	798180,00	6	133030,00	3233,3682	**
Erro	576,00	14	41,14		
Total	798756,00	20			

Coefficiente de Variação = 0,555%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

#### MÉDIAS E MEDIDAS

##### Médias de tratamento

40%	1407,00000	a
50%	1341,66699	b
60%	1268,00000	c
70%	1228,33301	d
80%	1034,00000	e
90%	970,00000	f
100%	837,66669	g

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B4: Análise de variância para a massa unitária do compósito com EVA 4.

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Teores de EVA	638323,31	6	106387,21	2275,0107	**
Erro	654,68	14	46,76		
Total	638978,00	20			

Coefficiente de Variação = 0,621%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

#### MÉDIAS E MEDIDAS

##### Médias de tratamento

40%	1383,33301	a
50%	1219,33301	b
60%	1142,33301	c
70%	1126,33301	c
80%	1081,33301	d
90%	957,33331	e
100%	791,66669	f

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B5: Análise de variância para a massa unitária do compósito com EVA 1 para os traços C<sub>8</sub>, C<sub>9</sub>, C<sub>10</sub>, C<sub>11</sub> e C<sub>12</sub> (com uso de brita “0”).

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Teores de EVA	61351,33	4	15337,83	181,1552	**
Erro	846,66	10	84,66		
Total	62198,00	14			

Coefficiente de Variação = 0,656%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

#### MÉDIAS E MEDIDAS

##### Médias de tratamento

40%	1290,33301	d
30%	1472,33301	a
30%	1377,66699	c
25%	1449,33301	a
20%	1416,33301	b

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B6: Análise de variância para a resistência à compressão entre os compósitos com EVA 1 ( $D_{\max}$  9,5mm) e com EVA 2 ( $D_{\max}$  4,8mm).

(a) em corpos-de-prova cilíndricos

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Fator1(F1)	1,02081	1	1,02081	6,8472	*
Fator2(F2)	42,88205	6	7,14701	47,9396	**
Int. F1xF2	10,59931	6	1,76655	11,8494	**
Erro	10,43585	70	0,14908		
Total	64,93802	83			

Coefficiente de Variação = 18,756%

Fator 1 = Granulometria; Fator 2 = Teores de EVA.

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; \* = significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

----- MÉDIAS DE INTERAÇÃO -----

Médias Fator 1 x Fator 2							
Fator 2							
Fator 1	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
$D_{\max}$ 9,5mm	2,428 bA	2,470 aA	2,570 aA	2,066 aAB	1,476 aBC	1,3500 aC	1,276 aC
$D_{\max}$ 4,8mm	4,250 aA	2,731 aB	1,976 bCD	2,320 aBC	1,258 aE	1,253 aE	1,391 aDE

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(b) em blocos

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Fator1 (F1)	0,04614	1	0,04614	2,8126	ns
Fator2(F2)	23,28233	6	3,88039	236,5550	**
Int. F1xF2	1,19640	6	0,19940	12,1557	**
Erro	1,14826	70	0,01640		
Total	25,67312	83			

Coefficiente de Variação = 14,756%

Fator 1 = Granulometria; Fator 2 = Teores de EVA.

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo pelo teste F.

----- MÉDIAS DE INTERAÇÃO -----

Médias Fator 1 x Fator 2							
Fator 2							
Fator 1	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
$D_{\max}$ 9,5mm	1,330 aB	1,388 aAB	1,606 aA	1,180 aB	0,305 aC	0,218 aC	0,211 aC
$D_{\max}$ 4,8mm	1,426 aA	1,376 aA	0,983 bB	1,281 aA	0,310 aC	0,285 aC	0,248 aC

Obs : Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B7: Análise de variância para a resistência à compressão entre os compósitos com EVA 3 ( $D_{\text{máx}}$  9,5mm) e com EVA 4 ( $D_{\text{máx}}$  6,3mm)

(a) em corpos-de-prova cilíndricos

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Fator1(F1)	0,60336	1	0,60336	17,3850	**
Fator2(F2)	13,10494	6	2,18416	62,9330	**
Int. F1xF2	2,60110	6	0,43352	12,4911	**
Erro	2,42942	70	0,03471		
Total	18,73883	83			

Coefficiente de Variação = 8,331%

Fator 1 = Granulometria; Fator 2 = Teores de EVA.

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

----- MÉDIAS DE INTERAÇÃO -----

Médias Fator 1 x Fator 2							
Fator 1	Fator 2						
	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
$D_{\text{máx}}$ 9,5mm	2,255 aAB	2,308 aAB	2,430 aA	2,538 bA	1,995 bBC	1,898 aCD	1,635 aD
$D_{\text{máx}}$ 6,3mm	2,465 aB	2,503 aB	2,573 aAB	2,785 aAB	2,875 aA	1,728 aC	1,316 bD

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(b) em blocos

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Fator1(F1)	0,10076	1	0,10076	10,3057	**
Fator2(F2)	29,30360	6	4,88393	499,5387	**
Int. F1xF2	2,23129	6	0,37188	38,0369	**
Erro	0,68438	70	0,00978		
Total	32,32004	83			

Coefficiente de Variação = 7,177%

Fator 1 = Granulometria; Fator 2 = Teores de EVA.

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

----- MÉDIAS DE INTERAÇÃO -----

Médias Fator 1 x Fator 2							
Fator 1	Fator 2						
	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
$D_{\text{máx}}$ 9,5mm	1,308 aD	1,485 bC	1,723 aB	2,410 bA	1,050 bE	0,825 aF	0,600 aG
$D_{\text{máx}}$ 6,3mm	1,090 bD	1,621 aC	1,608 bC	2,531 aA	1,853 aB	0,766 aE	0,415 bF

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B8: Análise de variância para a resistência à compressão entre os compósitos com EVA 1 (sem T. T.) e com EVA 3 (com T.T.)

(a) em corpos-de-prova cilíndricos

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Fator1(F1)	0,86644	1	0,86644	37,5747	**
Fator2(F2)	13,19340	6	2,19890	95,3588	**
Int. F1xF2	2,12151	6	0,35359	15,3338	**
Erro	1,61415	70	0,02306		
Total	17,79550	83			

Coefficiente de Variação = 7,408%

Fator 1 = Tratamento térmico; Fator 2 = Teores de EVA.

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

----- MÉDIAS DE INTERAÇÃO -----

Médias Fator 1 x Fator 2							
Fator 1	Fator 2						
	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
sem T.T.	2,428 aA	2,470 aA	2,570 aA	2,066 bB	1,476 bC	1,350 bC	1,276 bC
com T.T.	2,255 aBC	2,308 aAB	2,430 aAB	2,538 aA	1,995 aCD	1,898 aDE	1,635 aE

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(b) em blocos

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Fator1(F1)	4,28408	1	4,28408	379,5979	**
Fator2(F2)	23,47665	6	3,91278	346,6979	**
Int. F1xF2	3,54652	6	0,59109	52,3742	**
Erro	0,79001	70	0,01129		
Total	32,09726	83			

Fator 1 = Tratamento térmico; Fator 2 = Teores de EVA.

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

----- MÉDIAS DE INTERAÇÃO -----

Médias Fator 1 x Fator 2							
Fator 1	Fator 2						
	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
sem T.T.	1,330 aBC	1,388 aB	1,606 aA	1,180 bC	0,305 bD	0,218 bD	0,211 bD
com T.T.	1,308 aC	1,485 aC	1,723 aB	2,410 aA	1,050 aD	0,825 aE	0,600 aF

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B9: Análise de variância para a resistência à compressão do compósito com EVA 1, entre os traços C<sub>2</sub> e C<sub>10</sub>, (sem e com brita “0” respectivamente, ambos com 50% de agregado graúdo).

(a) em corpos-de-prova cilíndricos

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Brita “0”	3,25521	1	3,25521	72,1646	**
Erro	0,45108	10	0,04511		
Total	3,70629	11			

Coeficiente de Variação = 10,896%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

sem brita “0”	2,47000 a
com brita “0”	1,42833 b

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(b) em blocos

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Brita “0”	0,37454	1	0,37454	12,6177	**
Erro	0,29683	10	0,02968		
Total	0,67137	11			

Coeficiente de Variação = 14,291%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

sem brita “0”	1,38833 a
com brita “0”	1,03500 b

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B10: Análise de variância para a resistência à compressão do compósito com EVA 1, entre os traços C<sub>2</sub> e C<sub>11</sub>, (sem e com brita “0” respectivamente, ambos com 50% de agregado graúdo).

(a) em corpos-de-prova cilíndricos

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Brita “0”	0,94079	1	0,94079	60,7752	**
Erro	0,15480	10	0,01548		
Total	1,09558	11			

Coefficiente de Variação = 5,681%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

### MÉDIAS E MEDIDAS

#### Médias de tratamento

sem brita “0” 2,47000 a  
com brita “0” 1,91000 b

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(b) em blocos

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Brita “0”	0,00021	1	0,00021	0,0047	ns
Erro	0,44029	10	0,04403		
Total	0,44049	11			

Coefficiente de Variação = 15,159%

ns = não significativo pelo teste F.

### MÉDIAS E MEDIDAS

#### Médias de tratamento

sem brita “0” 1,38833 a  
com brita “0” 1,38000 a

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B11: Análise de variância para a resistência à compressão do compósito com EVA 1, entre os traços C<sub>3</sub> e C<sub>8</sub>, (sem e com brita "0" respectivamente, ambos com 60% de agregado graúdo).

(a) em corpos-de-prova cilíndricos

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Brita "0"	3,16212	1	3,16212	82,2309	**
Erro	0,38454	10	0,03845		
Total	3,54667	11			

Coefficiente de Variação = 9,535%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

#### MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

sem brita "0"	2,57000 a
com brita "0"	1,54333 b

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(b) em blocos

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Brita "0"	0,94641	1	0,94641	56,6427	**
Erro	0,16708	10	0,01671		
Total	1,11349	11			

Coefficiente de Variação = 9,749%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

#### MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

sem brita "0"	1,60667 a
com brita "0"	1,04500 b

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B12: Análise de variância para a resistência à compressão do compósito com EVA 1, entre os traços C<sub>3</sub> e C<sub>9</sub>, (sem e com brita “0” respectivamente, ambos com 60% de agregado graúdo).

(a) em corpos-de-prova cilíndricos

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Brita “0”	0,50839	1	0,50839	5,2418	*
Erro	0,96988	10	0,09699		
Total	1,47828	11			

Coefficiente de Variação = 13,173%

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

#### MÉDIAS E MEDIDAS

	Médias de tratamento
sem brita “0”	2,57000 a
com brita “0”	2,15833 b

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(b) em blocos

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Brita “0”	0,32669	1	0,32669	17,5015	**
Erro	0,18666	10	0,01867		
Total	0,51336	11			

Coefficiente de Variação = 7,711%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

#### MÉDIAS E MEDIDAS

	Médias de tratamento
sem brita “0”	1,60667 b
com brita “0”	1,93667 a

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B13: Análise de variância para a resistência à compressão do compósito com EVA 1, entre os traços C<sub>1</sub> e C<sub>12</sub>, (sem e com brita “0” respectivamente, ambos com 40% de agregado graúdo).

(a) em corpos-de-prova cilíndricos

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Brita “0”	1,59141	1	1,59141	31,8737	**
Erro	0,49929	10	0,04993		
Total	2,09069	11			

Coefficiente de Variação = 10,825%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

#### MÉDIAS E MEDIDAS

##### Médias de tratamento

sem brita “0”	2,42833 a
com brita “0”	1,70000 b

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(b) em blocos

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Brita “0”	0,04813	1	0,04813	2,0788	ns
Erro	0,23153	10	0,02315		
Total	0,27966	11			

Coefficiente de Variação = 12,013%

ns = não significativo pelo teste F.

#### MÉDIAS E MEDIDAS

##### Médias de tratamento

sem brita “0”	1,33000 a
com brita “0”	1,20333 a

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B14: Análise de variância para a absorção do compósito com EVA 1.

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Teores de EVA	434,69	6	72,44	162,1238	**
Erro	6,25	14	0,44		
Total	440,95	20			

Coefficiente de Variação = 5,187%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

#### MÉDIAS E MEDIDAS

##### Médias de tratamento

40%	8,86000	c
50%	8,64333	c
60%	8,77333	c
70%	9,99667	c
80%	15,86000	b
90%	18,41000	a
100%	19,67333	a

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B15: Análise de variância para a absorção do compósito com EVA 2.

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Teores de EVA	639,21	6	106,53	330,7060	**
Erro	4,51	14	0,32		
Total	643,72	20			

Coefficiente de Variação = 3,617%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

#### MÉDIAS E MEDIDAS

##### Médias de tratamento

40%	9,89667	d
50%	11,30667	cd
60%	12,71667	c
70%	10,22000	d
80%	20,32000	b
90%	21,64000	b
100%	23,73333	a

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B16: Análise de variância para a absorção do compósito com EVA 3.

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Teores de EVA	101,15	6	16,85	395,0251	**
Erro	0,59	14	0,04		
Total	101,75	20			

Coefficiente de Variação = 2,030%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

#### MÉDIAS E MEDIDAS

##### Médias de tratamento

40%	9,95333	d
50%	10,37667	d
60%	8,33667	e
70%	6,22333	f
80%	11,04000	c
90%	11,74000	b
100%	13,55667	a

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B17: Análise de variância para a absorção do compósito com EVA 4.

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Teores de EVA	95,09	6	15,84	164,4788	**
Erro	1,34	14	0,09		
Total	96,44	20			

Coefficiente de Variação = 3,267%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

#### MÉDIAS E MEDIDAS

##### Médias de tratamento

40%	10,51000	c
50%	8,09000	d
60%	8,11000	d
70%	7,03333	e
80%	7,95000	d
90%	11,59333	b
100%	13,22667	a

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA B18: Análise de variância para a absorção do compósito com EVA 1 para os traços C<sub>8</sub>, C<sub>9</sub>, C<sub>10</sub>, C<sub>11</sub> e C<sub>12</sub> (com uso de brita "0").

Fonte de variação	Soma de quadrado	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	Efeito
Teores de EVA	48,65	4	12,16	73,41	**
Erro	1,65	10	0,16		
Total	50,31	14			

Coefficiente de Variação = 4,282%

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

#### MÉDIAS E MEDIDAS

##### Médias de tratamento

40%	8,27667	bc
30%	8,10667	c
30%	9,31000	b
25%	8,83000	bc
20%	13,00667	a

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**ANEXO C**  
**TABELAS DAS COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DOS**  
**AGREGADOS DE EVA (AGREGADO ARTIFICIAL)**

TABELA C1 – Composição granulométrica do agregado EVA 1.

<b>Abertura da peneira (mm)</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Retida acumulada</b>	<b>% que passa da amostra total</b>
9,5	0,00	0,00	100,00
6,3	28,64	28,64	71,36
4,8	39,33	67,97	32,03
2,4	27,68	95,65	4,35
1,2	2,73	98,38	1,62
0,6	0,37	98,76	1,24
0,3	0,09	98,85	1,15
0,15	0,06	98,91	1,09
Resto	1,09	100,00	0,00

TABELA C2 – Composição granulométrica do agregado EVA 2.

<b>Abertura da peneira (mm)</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Retida acumulada</b>	<b>% que passa da amostra total</b>
9,5	0,00	0,00	100,00
6,3	0,03	0,03	99,97
4,8	2,23	2,26	97,74
2,4	75,43	77,69	22,31
1,2	17,49	95,17	4,83
0,6	3,10	98,27	1,73
0,3	0,54	98,82	1,18
0,15	0,27	99,09	0,91
Resto	0,91	100,00	0,00

TABELA C3 – Composição granulométrica do agregado EVA 3.

<b>Abertura da peneira (mm)</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Retida acumulada</b>	<b>% que passa da amostra total</b>
12,5	0,00	0,00	100,00
9,5	0,39	0,39	99,61
6,3	30,50	30,89	69,11
4,8	39,87	70,77	29,23
2,4	27,37	98,14	1,86
1,2	1,36	99,50	0,50
0,6	0,36	99,85	0,15
0,3	0,07	99,92	0,08
0,15	0,05	99,96	0,04
Resto	0,04	100,00	0,00

TABELA C4 – Composição granulométrica do agregado EVA 4.

<b>Abertura da peneira (mm)</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Retida acumulada</b>	<b>% que passa da amostra total</b>
9,5	0,00	0,00	100,00
6,3	0,13	0,13	99,87
4,8	21,90	22,03	77,97
2,4	71,07	93,10	6,90
1,2	5,80	98,90	1,10
0,6	0,68	99,58	0,42
0,3	0,12	99,71	0,29
0,15	0,07	99,78	0,22
Resto	0,22	100,00	0,00

TABELA C5 – Composição granulométrica do agregado de EVA 5.

<b>Abertura da peneira (mm)</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Retida acumulada</b>	<b>% que passa da amostra total</b>
19,0	0,00	0,00	100,00
12,5	1,23	1,23	98,77
9,5	18,03	19,27	80,73
6,3	52,20	71,47	28,53
4,8	17,32	88,79	11,21
2,4	9,94	98,73	1,27
1,2	0,65	99,38	0,62
0,6	0,06	99,44	0,56
0,3	0,04	99,48	0,52
0,15	0,04	99,52	0,48
Resto	0,48	100,00	0,00