

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE E.V.A. (Ethylene
Vinyl Acetate) COMO AGREGADO PARA CONCRETO LEVE
NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Eng.º Givanildo Garlet

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em
Engenharia Civil - CPGEC, como parte dos requisitos para
a obtenção do título de *Mestre em Engenharia*.

Área de Concentração: Construção Civil

Porto Alegre

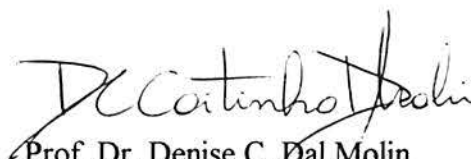
1998

ESCOLA DE ENGENHARIA
BIBLIOTECA

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título *de Mestre em Engenharia* e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.



Prof. Dr. Hélio Adão Greven
Orientador



Prof. Dr. Denise C. Dal Molin
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em
Engenharia Civil

Banca Examinadora:

- Hélio Adão Greven (orientador)
Dr. Ing. pela Universidade de Hannover
- Claudio S. Kazmierczak
Dr. pela Escola Politécnica da USP
- Denise C. Dal Molin
Dr. pela Escola Politécnica da USP
- Ruy A. Cremonini
Dr. pela Escola Politécnica da USP

AGRADECIMENTOS

- Ao prof. Hélio Adão Greven pela orientação sempre clara e objetiva e pelo companheirismo demonstrado em todos os momentos;
- A minha amada e querida noiva Suzana, que sempre me apoia em tudo que faço;
- A minha família que apesar das dificuldades enfrentadas na agricultura, sempre me incentivou nos estudos,
- Aos colegas do NORIE, especialmente ao Tarcísio e o Eduardo pela amizade sincera;
- Aos demais professores do NORIE, em especial a prof. Denise Dal Molin pela atenção dispensada sempre que solicitado;
- Aos funcionários do LEME, pelo auxílio no desenvolvimento da parte experimental;
- À empresa GRÜNTEC Ind. e Com. de Reatores Ltda, por ter fornecido o EVA e cedido o moinho para moagem do mesmo;
- A minha primeira professora Rosalina Mazzonetto, por quem guardo um carinho especial

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.2	JUSTIFICATIVA.....	2
1.3	OBJETIVO GERAL.....	3
	1.3.1 Objetivos específicos.....	3
1.4	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	4
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	5
2.	APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	6
2.1.	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	6
2.2.	DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	9
	2.2.1. Classificação dos resíduos sólidos.....	9
2.3.	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.....	12
2.4.	GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS.....	12
	2.4.1. Alternativas para o tratamento ou eliminação de resíduos.....	13
2.5.	USO DE RESÍDUOS E SUBPRODUTOS INDUSTRIAIS NA CONSTRUÇÃO.....	17
	2.5.1. Resíduos agrícolas.....	21
	2.5.2. Resíduos da indústria de papel.....	24
	2.5.3. Resíduos da indústria siderúrgica.....	24
	2.5.4. Resíduos da indústria têxtil.....	26
	2.5.5. Lodos de estação de tratamento de esgoto.....	27
	2.5.6. Resíduos da indústria coureiro calçadista.....	27
	2.5.7. Borracha de pneu reciclada.....	27
	2.5.8. Resíduos de construção e demolição.....	28
2.6.	CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA PESQUISA SOBRE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO NO BRASIL.....	29

3.	CONCRETO LEVE.....	32
3.1.	Introdução.....	32
3.2.	Tipos de concreto leve.....	33
3.2.1.	Concreto celular.....	36
3.2.2.	Concreto sem finos.....	37
3.2.3.	Concreto com agregados leves.....	38
4.	O E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate).....	47
4.1.	CONCEITO.....	47
4.2.	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS.....	47
4.3.	PRINCIPAIS APLICAÇÕES.....	48
4.4.	MERCADO.....	49
4.5.	O EVA NA INDÚSTRIA CALÇADISTA.....	50
	4.5.1. Fabricação de placas expandidas.....	50
4.6.	O RESÍDUO DE EVA.....	51
	4.6.1. Geração.....	51
	4.6.2. Quantidade produzida e disposição	52
	4.6.3. Aproveitamento do resíduo de EVA na construção civil.....	54
5.	PARTE EXPERIMENTAL.....	56
5.1.	MATERIAIS EMPREGADOS.....	56
	5.1.1. Cimento.....	56
	5.1.2. Areia.....	57
	5.1.3. Cinza volante.....	59
	5.1.4. Água.....	59
	5.1.5. EVA.....	59
5.2.	MÉTODOS UTILIZADOS.....	68
	5.2.1. Manufatura dos corpos de prova.....	68
	5.2.2. Ensaios realizados.....	71
5.3.	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	78
5.4.	RESULTADOS.....	81

6.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	83
6.1.	TRABALHABILIDADE E CONSISTÊNCIA.....	83
6.2.	DENSIDADE DO CONCRETO.....	85
6.3.	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	86
6.4.	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	89
6.5.	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO.....	91
6.6.	MASSA ESPECÍFICA.....	93
6.7.	ÍNDICE DE VAZIOS.....	94
6.8.	MÓDULO DE ELASTICIDADE À COMPRESSÃO.....	95
6.9.	RETRAÇÃO POR SECAGEM DO CONCRETO DE EVA.....	99
6.10.	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	100
6.11.	ENSAIOS COMPLEMENTARES.....	102
	6.11.1. Produção de blocos vazados.....	106
	6.11.2. Ensaio expedito de resistência ao fogo.....	107
	6.11.3. Isolamento Acústico de uma parede com blocos de EVA.....	107
	6.11.4. Avaliação da resistência do agregado de EVA à colonização por fungos.....	110
7.	DISCUSSÃO DAS PROPRIEDADES E APLICAÇÕES.....	118
7.1.	PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	118
7.2.	PROPRIEDADES FÍSICAS.....	118
7.3.	RESISTÊNCIA AO FOGO.....	119
7.4.	PROPRIEDADES ACÚSTICAS.....	120
7.5.	CONSIDERAÇÕES SOBRE POTENCIAIS APLICAÇÕES DO CONCRETO DE EVA.....	120
	7.5.1. Painéis pré-moldados.....	121
	7.5.2. Elementos pré fabricados (blocos, tijolos.....)	121
	7.5.3. Isolamento térmico de lajes e forros.....	122
	7.5.4. Atenuação do ruído de impacto em lajes entrepisos.....	122
7.6.	CORRELAÇÕES DE APLICAÇÃO PRÁTICA.....	122

8. CONCLUSÃO.....	125
8.1. SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128
ANEXO A Classificação dos resíduos sólidos.....	139
ANEXO B Propriedades de alguns tipos de concreto usando resíduos como agregado leve.....	141
ANEXO C Tabelas da análise estatística.....	144

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

FIGURA 2.1 Fluxograma para a Classificação de Resíduos.....	11
---	----

CAPÍTULO 3

FIGURA 3.1 Os três tipos fundamentais de concreto leve.....	34
FIGURA 3.2 Grupos de concretos leves.....	35
FIGURA 3.3 Classificação e emprego dos concretos leves de acordo com sua densidade de massa	44

CAPÍTULO 4

FIGURA 4.1 Fluxograma do Processo de Fabricação das Placas Expandidas de EVA.....	51
FIGURA 4.2 Detalhe dos retalhos de EVA, depositados no pátio de uma fábrica de calçados.....	52
FIGURA 4.3 detalhe de dois processos de corte da sola.....	53
FIGURA 4.4 Depósito de resíduo de EVA	53
FIGURA 4.5 Detalhe do moinho utilizado para obtenção do agregado de EVA.....	55

CAPÍTULO 5

FIGURA 5.1 Curva granulométrica da areia utilizada e limites estabelecidos pela NBR 7211/83 para a areia média.....	59
FIGURA 5.2 Distribuição granulométrica dos agregados de EVA.....	61
FIGURA 5.3 Detalhe do ensaio de abatimento do tronco de cone	63
FIGURA 5.4 Determinação da trabalhabilidade Graf para o agregado 3.....	64
FIGURA 5.5 Relação entre a % de EVA e a densidade do concreto.....	65
FIGURA 5.6 Resistência a compressão em função do teor de agregado de EVA.....	65
FIGURA 5.7 Comparação Múltipla de Médias para a % de EVA (a) e tipo de EVA (b).....	66
FIGURA 5.8 Curva granulométrica do agregado de EVA empregado no desenvolvimento desta pesquisa.....	68
FIGURA 5.9 Curva de absorção de água do agregado de EVA empregado nos experimentos.....	69
FIGURA 5.10 Detalhe do recipiente usado na pré-molhagem do agregado de EVA com a barreira em forma de peneira utilizada para reter a ascensão do agregado.....	70
FIGURA 5.11 Detalhe do ensaio de espalhamento do tronco de cone sobre a mesa de Graf.....	72

CAPÍTULO 6

FIGURA 6.1 Medida de trabalhabilidade do traço 1:3 com 60% de EVA pelo slump e mesa de Graf.	84
FIGURA 6.2 Trabalhabilidade Graf traço 1:5 com 60% de EVA (a) e 1:7 com 60% de EVA (b)	84
FIGURA 6.3 Detalhe da medida de trabalhabilidade da mistura II (1:3 com 70% de EVA).....	84
FIGURA 6.4 Densidade do concreto em função do teor de agregado de EVA.....	86
FIGURA 6.5 Densidade do concreto em função do traço do concreto	86
FIGURA 6.6 Relação entre a resistência à compressão e o teor de EVA, em função do traço adotado	87
FIGURA 6.7 Relação entre a resistência à compressão e o traço em função do teor de agregado de EVA na mistura.....	88
FIGURA 6.8 Evolução da resistência à compressão dos 7 para os 28 dias em função do teor de EVA para os traços estudados.....	89
FIGURA 6.9 Relação entre a resistência à tração na flexão e a percentagem de EVA em função do traço do concreto.....	90
Figura 6.10 Relação entre a resistência à tração na flexão e o traço do concreto em função do teor de EVA na mistura.....	90
FIGURA 6.11 Detalhe do ensaio de resistência a tração na flexão.....	91
FIGURA 6.12 Relação entre a absorção de água e a percentagem de agregado de EVA em função do traço adotado.....	92
FIGURA 6.13 Relação entre a absorção de água do concreto e seu traço em função do teor de agregado de EVA.....	93
FIGURA 6.14 Massa específica e percentagem de EVA, de acordo com o traço do concreto.....	93
FIGURA 6.15 Massa específica e traço do concreto em função do teor de EVA.....	94
FIGURA 6.16 Relação entre a porosidade aparente e o teor de agregado de EVA para os diferentes traços do concreto.....	95
FIGURA 6.17 Porosidade aparente e traços do concreto, em função do teor de EVA.....	95
FIGURA 6.18 Módulo de elasticidade e teor de EVA na mistura, em função do traço do concreto.....	96
FIGURA 6.19 Detalhe da deformação de um corpo de prova constituído por cimento e EVA.....	97
FIGURA 6.20 Ruptura característica de concreto com 80% de EVA (a) e 60% de EVA (b).....	97
FIGURA 6.21 Comportamento da curva tensão x deformação de um concreto convencional e do concreto de EVA.....	98
FIGURA 6.22 Retração por secagem do concreto de EVA, em função do teor de agregado.....	100
FIGURA 6.23 Retração por secagem em função do consumo de cimento.....	100
FIGURA 6.24 Resistência à tração por compressão diametral e o consumo de cimento.....	101

FIGURA 6.25 Resistência à tração por compressão diametral e o teor de EVA	101
FIGURA 6.26 Detalhe do ensaio de resistência a tração por compressão diametral.....	102
FIGURA 6.27 Trabalhabilidade do traço 1:3, com 60% de EVA e 20% de cinza volante.....	105
FIGURA 6.28 Trabalhabilidade do traço 1:5, com 60% de EVA e 20% de cinza volante.....	105
FIGURA 6.29 Trabalhabilidade do traço 1:5, com 70% de EVA e aditivo	105
FIGURA 6.30 Detalhe do ensaio expedito de resistência ao fogo.....	109
FIGURA 6.31 Detalhe da superfície do bloco após o ensaio.....	109
FIGURA 6.32 Parede executada com blocos de EVA.....	109
FIGURA 6.33 Sequência de colonização por microrganismos e fatores envolvidos.....	111
FIGURA 6.34 Câmara tropical	117
FIGURA 6.35 Detalhe do ensaio de ataque fúngico através da placa de Petri.....	117
FIGURA 6.36 Borda do corpo de prova com <i>Aspergillus Fumigatus</i> com 10 dias.....	117
FIGURA 6.37 Borda do corpo de prova com <i>Aspergillus Fumigatus</i> com 30 dias.....	117
FIGURA 6.38 Aspecto algodono e filamentosos na superfície da formulação 1 com 90 dias.....	117

CAPÍTULO 7

FIGURA 7.1 Diagrama para escolha de um traço de concreto de EVA a partir da definição dos valores de densidade e resistência exigidos.....	124
--	-----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 4

TABELA 4.1 Densidade das placas expandidas de EVA de acordo com a sua aplicação.....	50
--	----

CAPÍTULO 5

TABELA 5.1 Propriedades Físicas do Cimento.....	57
TABELA 5.2 Composição Química do Cimento (NBR 05742).....	57
TABELA 5.3 Propriedades físicas da areia empregada.....	58
TABELA 5.4 Análise Granulométrica da areia utilizada	58
TABELA 5.5 Principais características físicas dos agregados de EVA.....	61
TABELA 5.6 Resultados de resistência a compressão, densidade e trabalhabilidade encontrados com os três agregados.....	62
TABELA 5.7 Análise de Variância para Resistência a compressão	66
TABELA 5.8 Características do agregado escolhido.....	67
TABELA 5.9 Valores médios encontrados para os ensaios especificados com o concreto leve de EVA, de acordo com o experimento desenvolvido.....	82

CAPÍTULO 6

TABELA 6.1 Valores do Ensaio de Retração por Secagem.....	99
TABELA 6.2 Resultados da investigação complementar visando melhorar as condições de trabalhabilidade do concreto de EVA.....	103
TABELA 6.3 Resultados da investigação complementar visando melhorar a resistência à compressão do concreto de EVA.....	104
TABELA 6.4 Crescimento fúngico em duas formulações submetidas a testes acelerados de biodeterioração.....	115

CAPÍTULO 7

TABELA 7.1 Composição da mistura para 1m^3 de concreto de EVA, com o traço 1:3.....	123
TABELA 7.2 Composição da mistura para 1m^3 de concreto de EVA, com o traço 1:5.....	123

ÍNDICE DE QUADROS

CAPÍTULO 2

QUADRO 2.1 Principais tipos de resíduos, suas origens e aplicações em potencial.....	18
--	----

CAPÍTULO 3

QUADRO 3.1 Classificação funcional dos concretos leves.....	35
QUADRO 3.2 Propriedades de alguns concretos de agregados leves.....	42
QUADRO 3.3 Propriedades de diferentes tipos de concretos leves.....	43
QUADRO 3.4 Propriedades típicas do concreto com Poliestireno expandido.....	46

CAPÍTULO 4

QUADRO 4.1 Principais conseqüências da biodeterioração em superfícies.....	57
--	----

CAPÍTULO 5

QUADRO 5.1 Experimento preliminar.....	60
QUADRO 5.2 Valores admissíveis de resistência à compressão e absorção de blocos de concreto.....	80
QUADRO 5.3 Grade do experimento desenvolvido nesta pesquisa.....	81

CAPÍTULO 6

QUADRO 6.1 Valores admissíveis para Resistência à compressão e Absorção de água de blocos para alvenaria.....	106
QUADRO 6.2 Principais seqüências da biodeterioração em superfícies.....	112

LISTA DE ABREVIATURAS

PEDB	Polietileno de Baixa Densidade
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
RILEM	Réunion International des Laboratoires d'Essais et Matériaux
ISO	International Standard Organization
FIERGS	Federação das Industrias do Estado do Rio Grande do Sul
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
CTCCA	Centro Tecnológico do Couro Calçado e Afins
ABIQUIM	Associação Brasileira das Industrias Químicas
EVA	Ethylene Vinyl Acetate
CMM	Comparação Múltipla de Médias

RESUMO

O desenvolvimento de novos materiais para a construção civil a partir do aproveitamento de resíduos industriais, buscando a redução do custo das habitações e a preservação do meio ambiente, apresenta vantagens que vem despertando o interesse de pesquisadores e empresários em todo o mundo.

Neste trabalho é descrito o estudo para o aproveitamento, na construção civil, do resíduo de E.V.A. (*Ethylene Vinyl Acetate*), polímero muito utilizado na indústria calçadista para a confecção de solados e palmilhas internas de calçados. Em virtude do grande volume gerado mensalmente este material vem se acumulando ao longo dos anos em áreas a céu aberto, causando diversos problemas ao meio ambiente. O emprego dos resíduos de EVA na construção, além de contribuir para a solução do problema ambiental, pode representar uma nova fonte de receita para empresas que exploram o uso deste material.

Aproveitando a baixa massa unitária deste resíduo ($\pm 180 \text{ kg/m}^3$), o estudo foi direcionado para o desenvolvimento de um agregado leve, a ser usado na produção de concreto e de componentes de vedação para a construção civil.

O material proveniente das fábricas de calçados foi triturado em um moinho, sendo assim obtido um agregado de EVA com determinada granulometria. Posteriormente foi conduzido um programa experimental, onde foram avaliadas as condições de trabalhabilidade e consistência necessárias à mistura fresca, bem como as propriedades físicas e mecânicas do concreto obtido, pela mistura de cimento, areia e agregado de EVA.

Os resultados mostram um novo tipo de concreto leve, cuja principal propriedade é a grande ductilidade, devido às propriedades elásticas do agregado de EVA. Como aplicações em potencial são apontadas o uso como contrapiso de lajes entrepisos para atenuação do ruído de impacto, isolamento térmico, absorção acústica, além da possibilidade de produção de alguns artefatos de cimento, desde que a resistência à compressão seja adequada, na dosagem do concreto.

ABSTRACT

The development of new construction materials, using industrial wastes, can reduce the cost of construction and preserve the environment. These advantages have been waking the interest of researchers around world.

This work describes the studies to make use of E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) wastes, which is a polymer very utilized to make soles in the shoes industry. The big amount of EVA wastes produced per month has been deposited in many earth surfaces, causing many environmental problems.

Therefore utilizes these wastes can represent a new source of take for business enterprises. Furthermore, can contribute to solve the environmental problems.

Due to the low weight of this material the studies were conducted to find out a new Lightweight aggregate to use in the civil construction.

The first step was to grind the wastes from the factories to reduce them to an aggregate. Then was developed an experimental program where the physical and mechanical properties of the concrete obtained mixing cement, sand and EVA aggregate were analyzed.

The results shown a new Lightweight aggregate concrete that can be utilized to make non structural components for construction as thermal insulation of roofs, to reduce de impact noise between slabs of the multistory building and to acoustical absorption. The studies also conclude that the strength can be control through the concrete density in the project mix.

1 INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

O acelerado processo de industrialização observado em algumas regiões do país, aliado à expansão demográfica dele decorrente, tem acarretado um aumento considerável na produção de resíduos sólidos, particularmente no que se refere aos de origem industrial. O trato inadequado dos resíduos sólidos contribui de forma marcante para o agravamento dos problemas ambientais, notadamente nos grandes centros urbanos.

Com o advento do que podemos chamar de “era ecológica”, ocorreu o surgimento de uma legislação ambiental mais rigorosa, obrigando o gerador dos resíduos a dispô-los de maneira adequada sem agredir o meio ambiente, fato que representou fonte de despesas.

Este quadro levou ao aparecimento de uma nova política no que se refere aos resíduos industriais, pois as empresas se vêem obrigadas a incorporar à gestão empresarial, os processos de disposição final, minimização e reciclagem dos resíduos, visando diminuir os custos advindos para cumprir as exigências dos órgãos ambientais. Assim, se o gerador de resíduo encontrar uma forma de reaproveitar ou vender os resíduos, além de solucionar o problema de deposição, poderá conseguir uma fonte de renda adicional.

Cientes da importância da reciclagem dos resíduos e das possibilidades de desenvolvimento de novos materiais, é sensível, nos últimos anos, o aumento de investimentos em pesquisa, destinados ao aproveitamento dos resíduos industriais, tanto por parte das indústrias como de entidades governamentais de fomento à pesquisa.

Como resultado deste investimento, já podemos apontar vários exemplos em que este “lixo”, até então considerado como um material inútil e fonte de despesas, transformou-se em matéria-prima para outras indústrias, adquirindo assim o *status* de subproduto, a partir do qual são geradas novas utilizações. Um dos casos mais clássicos é a microssilica, resíduo da produção de ferro - silício em fornos elétricos de redução que se tornou um produto extremamente valorizado pelas suas propriedades quando adicionada ao concreto.

Dentro desta nova possibilidade, a construção civil, pela grande quantidade e diversidade dos materiais que consome é um mercado em potencial para absorver estes subprodutos. Além disso, os materiais empregados em nossas construções ainda são os principais responsáveis pelo custo das obras, por isso materiais alternativos, desenvolvidos com resíduos industriais, podem representar uma boa alternativa para reduzir o preço das moradias, tornando a aquisição da casa própria acessível a um número maior de pessoas. A reciclagem desses resíduos pode ser um bom negócio, já consolidado em outros países, mas ainda incipiente no Brasil.

A indústria coureiro calçadista é um dos grandes segmentos industriais do Brasil. Possui atuação destacada no mercado nacional e internacional, exportando grande parte da sua produção. No entanto, é reconhecida como uma das atividades industriais que gera grande quantidade de resíduos, que não contemplam até o momento programas específicos de reciclagem.

Neste trabalho é desenvolvido um estudo visando aproveitar os resíduos de E.V.A.¹ (Ethylene Vinyl Acetate), material largamente utilizado para a confecção de solados na indústria calçadista, como um agregado leve para a produção de um novo tipo de concreto leve.

No decorrer do trabalho é apresentada a forma de obtenção do agregado de EVA, bem como os métodos de produção do concreto e análise das suas propriedades físicas e mecânicas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Através de pesquisa informal com empresas e entidades ligadas ao setor calçadista, na região de Novo Hamburgo (RS), foi possível estimar que são descartadas ao redor de 550 t/mês ou 3055m³/mês de resíduos de EVA no Brasil. Considerando que trata-se de um material de baixo peso, o volume é bastante considerável, sendo necessário grande espaço físico para a sua deposição.

¹ À continuidade desta dissertação o E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) será abreviado para EVA.

Os resíduos deste produto não são biodegradáveis e não podem ser reprocessados, pois o EVA é um polímero termofixo, o que torna a reação que o originou irreversível. Além disso, a armazenagem ou deposição a céu aberto acarreta problemas que vão desde a poluição visual de montanhas deste resíduo, até a possibilidade de proliferação de insetos e também de combustão deste material.

É importante salientar que o resíduo de EVA é uma matéria prima de baixo custo, considerando o fato de que as próprias empresas estão pagando para que o material seja retirado do pátio de suas fábricas. Isto poderá proporcionar uma redução substancial no custo de elementos que venham a ser confeccionados usando este resíduo como matéria-prima.

Diante deste contexto faz-se necessário a busca de soluções alternativas e definitivas para a utilização deste resíduo. Uma das possibilidades que parece ser promissora para a utilização dos resíduos de EVA é a trituração das sobras de placas. Os resíduos triturados em uma determinada granulometria podem ser aglomerados com cimento para confecção de um novo tipo de concreto leve.

Como não existem, até o presente momento, estudos publicados a respeito do aproveitamento deste resíduo na construção civil, esta dissertação de Mestrado pretende apontar uma alternativa para a sua reciclagem, contribuindo para a solução do problema ambiental decorrente da grande quantidade de resíduos de EVA gerados.

1.3 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a viabilidade e as potencialidades da utilização de resíduos de EVA, provenientes da indústria calçadista, como agregado leve para a produção de um novo tipo de concreto leve na construção civil.

1.3.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos pretendem:

- Minimizar o problema ambiental causado pela poluição proveniente do resíduo.

- Possibilitar uma redução de custo em relação aos materiais tradicionalmente usados na construção civil, uma vez que o resíduo tem custo zero;
- Desenvolver um método para a produção do concreto de EVA, usando técnicas simples e conhecidas;
- Avaliar as vantagens e desvantagens do concreto de EVA em relação aos demais tipos de concretos leves;
- Determinar as propriedades físicas e mecânicas do concreto de EVA, no estado fresco e endurecido;
- Apontar aplicações em potencial, baseado na investigação das propriedades físicas e mecânicas do concreto de EVA;
- Desenvolver um método que permita a escolha do traço do concreto de EVA através da especificação da densidade desejada, para uma determinada aplicação.

1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Por se tratar do primeiro estudo abordando a questão do aproveitamento de resíduos de EVA na construção, este trabalho se restringe ao que se chama de pesquisa básica dentro da terminologia da pesquisa sobre o aproveitamento de resíduos na construção. *Consiste no conhecimento do material, análise de suas propriedades, formas de utilização, bem como a investigação da influência nas propriedades físicas e mecânicas, no estado fresco e endurecido de um concreto de densidades diferenciadas, formado por cimento, areia e agregado de EVA.*

Questões relativas ao desempenho do concreto de EVA, quando usado em funções específicas na construção, bem como o desenvolvimento de componentes comercialmente viáveis a partir deste material, não fazem parte do enfoque deste trabalho, ficando como sugestão para estudos futuros. No final da dissertação, entretanto, são descritos alguns ensaios complementares visando melhorar a trabalhabilidade e a resistência do concreto de EVA. Também são relatados ensaios de resistência ao fogo, isolamento acústico e ataque fúngico ao concreto de EVA.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação consta de nove capítulos, sendo o primeiro uma abordagem genérica de forma a introduzir o assunto.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre a realidade nacional e internacional a respeito do uso de diversos resíduos na construção civil, enfocando aspectos importantes como classificação de resíduos, legislação ambiental e políticas de gerenciamento de resíduos visando a redução dos mesmos.

O capítulo 3 é dedicado à revisão bibliográfica sobre os tipos de concretos leves, enfocando principalmente as particularidades na produção de concreto com agregados leves, sendo descritas propriedades e aplicações de alguns desses concretos.

No capítulo 4 é fornecida a definição do que é o EVA, suas principais características e formas de uso na indústria calçadista. É feita a descrição de como é gerado o resíduo de EVA, suas quantidades e peculiaridades, até a forma de obtenção do agregado de EVA usado no desenvolvimento deste trabalho.

O capítulo 5 apresenta a parte experimental, com a descrição dos materiais e de alguns ensaios exploratórios para a escolha do agregado de EVA mais adequado ao uso no concreto leve. Também são relatados os métodos empregados no desenvolvimento dos trabalhos práticos, além dos ensaios e resultados obtidos no programa experimental.

O capítulo 6 é dedicado à análise e discussão dos resultados encontrados nos ensaios de laboratório, sendo também relatados alguns ensaios complementares realizados com o objetivo de contornar deficiências identificadas no concreto de EVA. Também é relatado neste capítulo a realização de um ensaio para avaliar a resistência do concreto de EVA à colonização por fungos.

O capítulo 7 faz algumas considerações sobre as propriedades físicas e mecânicas do concreto de EVA e aponta aplicações em potencial. Como contribuição para o uso prático deste material é apresentado um diagrama para a escolha das propriedades e do traço do concreto em função da densidade.

No capítulo 8 estão relatados os comentários finais e as conclusões deste trabalho, com ênfase nos resultados obtidos, apontando também sugestões para estudos futuros.

Finalmente no capítulo 9 é apresentada a bibliografia utilizada.

2 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Já há algum tempo a questão que envolve os resíduos industriais e urbanos ultrapassou as fronteiras das discussões ecológicas entre biólogos, geógrafos e entidades preservacionistas e assumiu caráter interdisciplinar. Economistas, sociólogos, engenheiros e outros vieram tomar parte na discussão, contribuindo em conhecimento e sugestões para tentar o equacionamento dos problemas de ordem ambiental (Santos, 1995).

No congresso do Institute of Solid Wastes em 1965 (Luz apud Ogata, 1980), uma das proposições, face à crescente quantidade de resíduos sólidos, líquidos e gasosos gerados no mundo, foi a possibilidade de, em um futuro talvez remoto, lançá-los em órbita no espaço. Tal sugestão mostra, muito bem, o grau de aflição dos técnicos especialistas em resíduos sólidos no que se refere ao destino a lhes ser dado, pois representam um amontoado de refugos que se acumulam cada dia mais na paisagem, sem que tenham atualmente o menor aproveitamento para a humanidade. Isto se verifica especialmente com relação àqueles resíduos incombustíveis e imputrescíveis, que não são facilmente assimilados pela natureza.

Esta preocupação é mais acentuada nas chamadas áreas metropolitanas, onde a densidade demográfica e a variedade de atividades conduzem a níveis de poluição cada vez mais elevados. Nestes locais, a capacidade da atmosfera e das águas superficiais de assimilarem os detritos líquidos e gasosos é essencialmente imutável e a superfície terrestre, para a deposição dos resíduos sólidos, encontra-se muito reduzida por outras demandas do uso do espaço (Ogata, 1980).

A industrialização e o desenvolvimento tem contribuído significativamente para o crescimento da produção de resíduos. Este fato, associado a escassez de áreas para dispô-los adequadamente, tem incentivado a pesquisa por métodos alternativos, no que se refere ao destino destes dejetos. Atualmente, cientistas, engenheiros e técnicos vem se dedicando cada vez mais à pesquisa visando a possibilidade do aproveitamento de resíduos e subprodutos industriais na produção de materiais alternativos, que possam vir a ser usados como substitutos

dos materiais convencionais, ou que possuam características adequadas ao emprego em novos projetos (Ramaswamy, Murthy and Nagaraj, 1983).

A tal propósito, Cincotto (1988) menciona que o aproveitamento de resíduos industriais na construção civil desperta grande interesse na medida em que pode contribuir para a redução do custo da construção, tornando acessível a aquisição da casa própria pela população de baixa renda. Sauterey, apud Cincotto (1990), cita que a construção civil é o ramo da atividade tecnológica que, pelo volume de recursos naturais consumidos, parece ser o mais indicado a absorver os resíduos sólidos.

Cincotto (1990) também cita três razões que tem motivado o crescimento do número de pesquisadores voltados para estudo do reaproveitamento geral de resíduos industriais e urbanos na construção:

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

O despertar da sociedade para a questão da administração dos resíduos sólidos, e particularmente dos resíduos sólidos urbanos, começou no final da década de 70, com a constatação de que haveria dificuldades crescentes para a instalação de aterros sanitários segundo Schwarz (1992). Para exemplificar, já em 1973, a Comunidade Européia iniciou uma série de ações visando a preservação do meio ambiente, objetivando inicialmente a limpeza do ar e dos cursos de água. Só no que se refere a plásticos, pelas diretrizes da Comunidade Européia, pretende-se que o destino destes resíduos mude radicalmente, dos 74% nos aterros sanitários em 1990 para somente 10% a partir do ano 2000.

O estudo do aproveitamento de resíduos e subprodutos industriais ou urbanos na construção constitui tema de pesquisa relativamente recente. Segundo Cincotto (1988), a preocupação com a destinação dos resíduos industriais e urbanos tomou forma com a realização de simpósios internacionais a partir de 1968 e com a criação dos seguintes comitês:

- Comitê E-38, criado em 1974, pela ASTM (American Society for Testing and Materials), cujo escopo é desenvolver métodos de ensaio, especificações, recomendações e nomenclatura, promover o conhecimento e estimular a pesquisa de materiais desenvolvidos a partir de resíduos.

- Comitê 37-DRC, criado em 1978, pela RILEM (Réunion International des Laboratoires d'Essais et Matériaux), sobre demolição e reutilização do concreto.
- Comitê de Pesquisa em “Materiais Residuais e Subprodutos para Construção de Rodovias”, criado pela OECD (Organization for Economic Cooperation and Development).

Em 1991, foi introduzido pela European Commission Directive 91/156/EEC, o conceito de “Desenvolvimento Sustentável”, cuja chave é a proteção do solo e da água, a limitação da produção de resíduos, principalmente tóxicos, e a reutilização de materiais residuais em outras atividades (Pera, 1996). Estas iniciativas tem contribuído para a conscientização mundial no avanço de programas da tecnologia de reciclagem de resíduos.

A partir da criação dos comitês, várias publicações internacionais a respeito deste tema podem ser encontradas. Os anais da International Conference on Materials of Construction for Developing Countries, realizado no ano de 1978 em Bangkok, na Thailandia, já apresenta vários artigos sobre aproveitamento de materiais alternativos de menor custo e de resíduos industriais na construção civil, principalmente como aglomerante. A RILEM tem sido responsável por várias publicações na área de reciclagem de resíduos, como exemplo, os Anais do “Third International RILEM Symposium”, realizado em Odense, Denmark em 1993, o qual teve como tema central a reciclagem de entulhos de obra.

A reciclagem e o reaproveitamento de resíduos na construção civil passa necessariamente pela conscientização desta necessidade, o que certamente é um trabalho que demanda tempo e investimentos em pesquisa. O Brasil ainda é um país que necessita despertar para as vantagens desta prática, pois segundo Nahas et. all (1995), somente na cidade de São Paulo são gerados ao redor de 12.000 t/dia de resíduos sólidos, sendo que 89% destes são depositados em aterros, 8,9% vão para usinas de separação e compostagem e 1,3% são incinerados, ficando clara a falta de uma cultura de reciclagem mais consistente.

2.2 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

Segundo a NBR 10.004, resíduos são aqueles materiais que se encontram nos estados sólido e semi-sólido que resultam das atividades de origem:

- Industrial
- Doméstica
- Hospitalar
- Comercial
- Agrícola
- de serviços e de varrição.

Inclui-se, nesta definição, os lodos provenientes das instalações de tratamento de águas, aqueles gerados em equipamentos de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam, para isto, soluções economicamente inviáveis, com a tecnologia atual disponível.

2.2.1 Classificação dos resíduos sólidos

As decisões técnicas e econômicas tomadas em todas as fases do trato dos resíduos sólidos industriais (manuseio, acondicionamento, armazenagem, coleta, transporte e disposição final) deverão estar fundamentadas na classificação dos mesmos (Rocca, 1992). A Associação Brasileira de Normas Técnicas editou o seguinte conjunto de normas para padronizar, em nível nacional, a classificação dos resíduos:

- | | |
|--|---------------|
| • NBR 10.004 - Resíduos Sólidos | Classificação |
| • NBR 10.005 - Lixiviação de Resíduos | Procedimento |
| • NBR 10.006 - Solubilização de Resíduos | Procedimento |
| • NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos | Procedimento |

A norma NBR 10.004 “Resíduos Sólidos - Classificação” classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, indicando quais resíduos devem ter manuseio e destinação mais rigidamente controlados. A classificação proposta

baseia-se fundamentalmente nas características dos resíduos reconhecidamente perigosos e em listagens de padrões de concentração de poluentes.

Baseado na análise das características do resíduo e nas listagens, a NBR 10.004 classifica os resíduos em três classes (veja anexo A):

- Resíduos Classe I perigosos;
- Resíduos Classe II não inertes;
- Resíduos Classe III inertes.

Em inúmeros casos a classificação de um resíduo é tarefa bastante complexa, principalmente se este resíduo for de origem desconhecida. Muitas vezes, mesmo para resíduos com origem conhecida, torna-se impossível conseguir uma resposta conclusiva, e nesses casos, será necessário analisar parâmetros indiretos ou mesmo realizar bioensaios. (Rocca et. all 1992)

O fluxograma da Fig. 2.1 apresenta o método a ser adotado na classificação de um resíduo, onde fica clara a complexidade da tarefa, dependendo da origem e das características do resíduo que está sendo analisado.

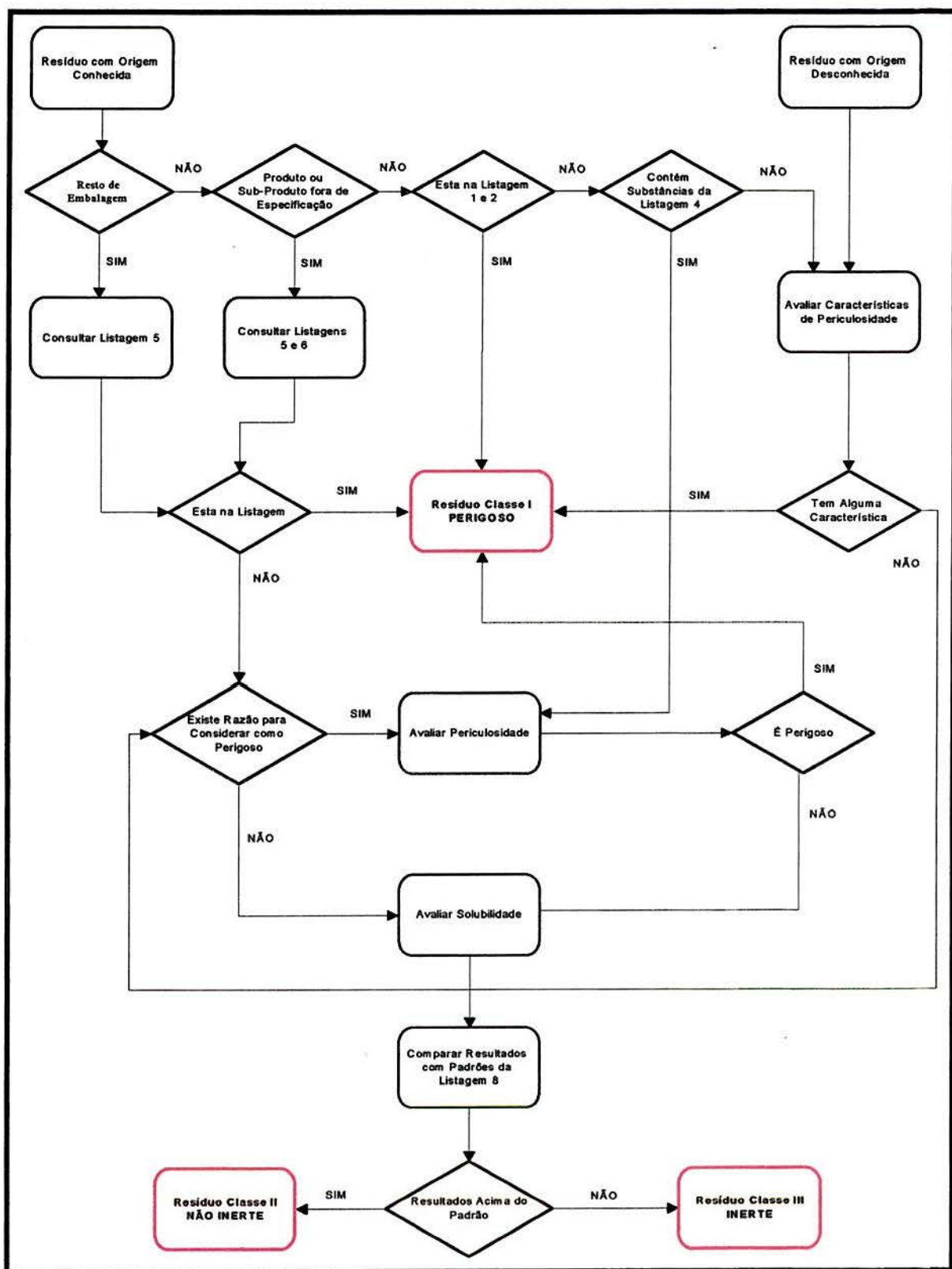


FIGURA 2.A - Fluxograma para Classificação de Resíduos
Fonte: Rocca, 1992

2.3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

A estocagem ou eliminação de resíduos produzidos no processo industrial, tem preocupado não só órgãos ambientais como os próprios geradores e a sociedade como um todo. Esta preocupação tende a se acentuar na medida em que houver maior rigor na fiscalização pelos órgãos ambientais, ou que a não conformidade de determinadas ações, envolvendo a gestão de resíduos, resulte no comprometimento da imagem da empresa perante à sociedade.

A elaboração em nível mundial, nacional e regional, de legislação ambiental específica, prevendo pesadas multas aos infratores, tem contribuído para despertar o interesse e as vantagens do “ecologicamente correto”. A regulamentação e a fiscalização das práticas empregadas no trato com os resíduos tem incentivado os geradores a procurar alternativas para o aproveitamento de seus dejetos.

Em nível internacional, já ha algum tempo a série de normas ISO 14.000, uma realidade mesmo no Brasil, vem contribuindo significativamente para alavancar uma política mais duradoura e transparente na gestão ambiental das empresas, através da criação dos chamados selos verdes, os quais atestam que os produtos em conformidade não agridem a natureza. O grande atrativo é o diferencial de mercado representado pelos produtos verdes, cada vez mais procurados pelo consumidor.

Especificamente falando no Estado do Rio Grande do Sul, existe, também, a lei Nº 9.921/93 de 27 de julho de 1993, que regulamenta algumas questões envolvendo o acondicionamento, transporte, disposição e o tratamento de resíduos sólidos industriais.

2.4 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

A minimização de resíduos se constitui numa estratégia importante no gerenciamento de resíduos. Está baseada na adoção de técnicas que possibilitem a redução do volume e/ou toxicidade dos resíduos e, conseqüentemente, de sua carga poluidora (Rocca, 1992).

A verificação das possibilidades de minimização de resíduos começa por um perfeito entendimento do processamento. As ações de minimização a serem investigadas durante o estudo do processamento industrial são de dois tipos:

- Atividades de caráter organizacional tais como treinamento de pessoal e manutenção;
- Alterações de caráter técnico.

Segundo Rocca (1992), na Alemanha e nos Estados Unidos, o procedimento de minimização de resíduos vem sendo adotado como linha de ação prioritária do governo de alguns estados, tendo em vista incentivar a pesquisa de novas metodologias que se mostrem ambientalmente vantajosas.

Cabe aqui fazer uma referência à terminologia empregada nesta área. Há quem faça certa confusão entre os termos reduzir, reutilizar e reciclar. Maia (1995) sugere a seguinte distinção para estes termos:

- *Reduzir* - significa evitar, de todas as maneiras possíveis e imagináveis, a formação de determinado resíduo durante o desenvolvimento de certa atividade.
- *Reutilizar* - Se depois da tentativa de redução de resíduos, ainda existir material sólido, deve-se reutilizar o mesmo, ou seja, dar um uso diferente ao mesmo.
- *Reciclar* - Processo pelo qual é possível conferir determinadas propriedades a um subproduto ou resíduo que permita a sua incorporação no processo de fabricação de novos materiais.

Por exemplo, se existe um equipamento que tritura resíduos como pedaços de tijolos resultantes dos rasgos executados na alvenaria para colocar tubulação, ou então do transporte e manuseio em obra; ou ainda argamassas recolhidas no piso oriundas do reboco, transformando os mesmos em material para produção de argamassa, então está se reciclando os resíduos. Num programa de minimização de resíduos, deve-se primeiro tentar reduzir, para posteriormente reciclar e por fim reutilizar o restante.

2.4.1 Alternativas para o Tratamento ou Eliminação de Resíduos

O processo industrial produz, em escalas variáveis de periculosidade, milhares de toneladas de rejeitos. A manutenção desses resíduos nas indústrias é problemática e onerosa financeiramente, fato que tem incentivado a busca de soluções alternativas a custos acessíveis,

para o destino dos mesmos. Segundo Junior (1992), a própria introdução da série ISO 14.000 demandará uma política mais duradoura e transparente na gestão ambiental das empresas.

Do ponto de vista ecológico, as ações preventivas de redução na fonte são indubitavelmente as melhores e mais eficientes. É inegável, todavia, que existe um longo caminho a percorrer até atingirmos um nível satisfatório. Durante este caminho os problemas ambientais deverão se avolumar de tal maneira que será inevitável a busca de alternativas mais aceitáveis num prazo mais curto.

Segundo Junior (1992), as formas mais usuais para solucionar os problemas referentes aos resíduos são:

- Reciclagem, quando possível
- Compostagem, de forma limitada
- Deposição em aterros, considerando-se que a exaustão destes é um problema a ser considerado
- Incineração, com o inconveniente da geração de cinzas que, em última instância, poderão ser aterradas
- Fabricação de combustíveis alternativos a partir do tratamento de resíduos com poder calorífico
- Co-processamento em fornos de cimento, prática mundialmente disseminada
- Estabilização com cimento de solos contaminados, lodos, etc.
- Encapsulamento de resíduos em concreto.

Obviamente que a melhor solução, para cada caso, dependerá de inúmeros fatores, destacando-se os aspectos técnico-econômicos ligados à natureza, volume e localização dos resíduos, entre outros.

Quanto à forma de deposição, os aterros sanitários e, especialmente, os lixões a céu aberto são a forma de destino que mais expõem a população urbana a problemas de saúde pública, porque o acúmulo de resíduos não deixa de apresentar emanações de gases, abrigo para vetores biológicos como insetos e ratos, água contaminada, partículas sólidas no ar, entre inúmeros outros problemas. Alguns autores provam a existência destes riscos (Ogata, 1980).

Uma das alternativas bem sucedidas que vem sendo pesquisada e empregada, principalmente na Europa e na América do Norte, é a imobilização ou incorporação de rejeitos com cimento e em peças de concreto especiais, material este que atua como barreira física e química à contaminação do meio ambiente pelos resíduos. Assim sendo, é de grande

importância desenvolver estudos que possam viabilizar a aplicação desta técnica a casos brasileiros.

De acordo com Junior(1992), estes estudos envolvem, entre outros, ensaios de microestrutura, de abrasão e lixiviação, garantindo a estanqueidade física e química dos materiais incorporados. Deverão ser testados concretos especiais, com adições e aditivos diversos, visando atingir a menor permeabilidade, compatível com os parâmetros físicos desejados.

Rocca (1992) cita a redução da geração de resíduos na fonte e a reciclagem como as duas principais estratégias para minimização de resíduos. A seguir são apresentadas algumas informações sobre as peculiaridades de cada sistema.

2.4.1.1 Redução na fonte

Consiste na redução ou eliminação da geração de um resíduo de processo através de modificações dentro do processo:

- Alterações de matérias primas
 - substituição ou purificação de matéria-prima
- Alterações de tecnologia
 - mudanças no processo
 - mudanças no arranjo dos equipamentos
 - automatização
- Mudanças de procedimento / práticas operacionais
 - prevenção de perdas
 - treinamento de pessoal e
 - segregação.

2.4.1.2 Reciclagem

A reciclagem é uma das formas mais atraentes de solução dos problemas de gerenciamento de resíduos, tanto do ponto de vista empresarial como dos órgãos de proteção ambiental.

Segundo Rocca et all (1992), em muitos países uma série de resíduos devem ser obrigatoriamente tratados e recuperados. No Brasil, até o momento, esta obrigatoriedade existe apenas para os resíduos de óleos lubrificantes.

Em termos práticos, a reciclagem por recuperação de um resíduo depende dos seguintes fatores:

- Proximidade da instalação de reprocessamento
- Custos de transporte dos resíduos
- Volume de resíduos disponíveis para o reprocessamento
- Custos de estocagem do resíduo no ponto de geração ou fora do local de origem.

Assim, Rocca (1992) cita que a reciclagem de um determinado material só será viável se o produto desenvolvido tiver custo inferior a similares no mercado, ou agregar algum diferencial técnico.

Para incentivar a reciclagem, têm sido criados em muitos países, inclusive no Brasil, sistemas de troca de informações através de uma publicação denominada Bolsa de Resíduos. Os interessados em vender ou doar algum material anunciam na Bolsa indicando nome, composição química e quantidade do resíduo, a partir do que os resíduos podem ser comercializados. Segundo Martinelli (1985), a experiência da América do Norte é de que 10 a 15% do número de resíduos listados são comercializados, enquanto na Europa, onde as Bolsas operam há mais tempo, este índice chega a atingir a casa dos 30 ou 40%.

No Brasil, a primeira bolsa de resíduos implantada foi a do Rio de Janeiro, criada em 1982, pela FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, atualmente desativada. Em abril de 1984 foi inaugurada a bolsa da CIENTEC e FIERGS, no Rio Grande do Sul, e também em 1984 entrou em operação a bolsa de resíduos da ABIQUIM em São Paulo. Hoje contamos ainda com as bolsas de Pernambuco, Bahia, Ceará, Paraíba, Pará, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais (Souza et all, 1992). Estas iniciativas já começam a dar alguns resultados, embora o índice de comercialização dos resíduos listados ainda se encontre bem abaixo dos valores obtidos com as bolsas americanas.

2.4.1.2.1 Reciclagem de plásticos

Por se tratar de um produto não biodegradável de elevada vida útil, o plástico é um dos principais vilões da natureza. O desenvolvimento econômico e a melhoria da qualidade de vida

fizeram crescer o consumo de plásticos no Brasil, inicialmente através de importações e, a partir da década de 70, através da implantação de unidades produtoras de resinas. Há estimativas de que existem aproximadamente 6.000 empresas no país que transformam plástico para atender às mais variadas necessidades, tanto da indústria, quanto do consumidor final (Soares, 1996).

O crescimento do setor trouxe também o aumento da quantidade de resíduos sólidos e a problemática da sua reciclagem. Conforme Schwarz (1992), a participação dos plásticos nos resíduos sólidos urbanos de São Paulo é de 5,6% e no Rio de Janeiro 7,5%. A suíça é o país líder em reciclagem de plásticos na Europa: com 13% destinados à reciclagem, 20% para aterros sanitários e 60% incinerados para geração de energia.

2.5 USO DE RESÍDUOS E SUBPRODUTOS NA CONSTRUÇÃO

No mundo todo, pesquisadores, engenheiros e técnicos de construção tem voltado os olhos para a utilização de materiais alternativos, através da reciclagem dos resíduos industriais e urbanos. Gutt (1976) apresenta um trabalho, relatando a utilização, na Grã Bretanha, de vários resíduos industriais na construção, bem como as recentes pesquisas, na época, a respeito do assunto.

Um dos principais temas de pesquisa tem sido a aplicação destes resíduos como base ou sub-base de rodovias. No Quadro 2.1 apresenta-se uma síntese das aplicações potenciais de alguns rejeitos de acordo com o que relata Cincotto (1988) e também os anais da conferência “Waste Materials in Construction”, realizada na Holanda em 1991.

QUADRO 2.1 - Principais tipos de resíduos, suas origens e aplicações em potencial.

RESÍDUOS METALÚRGICOS		
Resíduo	Fonte	Utilização
1. Escórias Ferrosas Alto forno	Obtenção do ferro gusa em alto forno a coque	Resfriada ao ar: Base de rodovias, concreto asfáltico, lastro, aterro, lâ mineral Expandida: Rodovias, concreto, agregado leve, blocos Granulada: Rodovias, produção de cimento, piso industrial ladrilho cerâmico
1.1. Refino	Aciaria	Base e sub-base de rodovias, concreto asfáltico, lastro, concreto, produção de cimento, tijolos e blocos.
2. Escórias não Ferrosas cobre manganês níquel zinco / chumbo	Metalúrgica	Base de rodovias, aterros, lastro, fibra de vidro, Produção de cimento, Base de rodovias, Aterro, agregado, lastro, pozalana, tijolos.
3. Areia de Fundição	Moldes de metalúrgicas e siderúrgicas	Aterro, base de tubulações, agregado, produção de cimento.
RESÍDUOS INDUSTRIAIS		
Resíduo	Fonte	Utilização
1. Cinza de carvão cinza volante	Usinas termelétricas. Queima de carvão pulverizado	Concreto asfáltico, estabilização de bases com cal, cal e gesso, aterro, concreto, agregado leve, produção de cimento, blocos celulares
1.1. cinza de grelha	Usinas termelétricas, queima de carvão	Base de rodovias, concreto asfáltico, estabilização com cal, produção de cimento, agregado leve, tijolos e blocos.
1.2. cinza de caldeira	Caldeiras	concreto asfáltico, estabilização com cal
2. Gesso	Indústria de fertilizantes	Base, sub-base e acostamento de rodovias, aterro, talude, estabilização de solos, produção de cimento, vedações verticais, blocos e tijolos.

3.	Resíduo cerâmico	Indústria cerâmica	Concreto, blocos de concreto, bases.
4.	Papel		
	lama	Caustificação do efluente	componentes, tijolos, painéis, isolantes, chapas onduladas
4.1.	Licor sulfítico	Cozimento da pasta celulósica	concreto asfáltico, estabilização de solo, argamassas
5.	Cimento		
	Clínquer	trocador de calor	blocos
5.1.	Finos	Gases de exaustão dos fornos	estabilização de solo, concreto asfáltico, aterro
6.	Lama de cal	Indústria de acetileno, papel, fertilizantes e açúcar	estabilização de solo, produção de cimento
RESÍDUOS URBANOS			
	Resíduo	Fonte	Utilização
1.	Vidros	Material descartado	concreto asfáltico, materiais cerâmicos, materiais aerados, blocos, ladrilhos, fibras, tijolos
2.	Pneus	Material descartado	concreto asfáltico
3.	Plásticos	Lixo doméstico	Bases e sub-bases de rodovias, concreto asfáltico, estabilização com cimento, aterro, agregado leve
4.	De construção e demolição	concreto asfáltico concreto aço	reciclagem em concreto asfáltico agregado para concreto concreto
RESÍDUOS VEGETAIS E FLORESTAIS			
	Resíduo	Fonte	Utilização
1.	Madeira		
	Casca	Campo, descartadores de serraria, desdobro	rodovias, aglomerados, placas, vedações verticais
1.1.	Serragem e cavacos	Desdobro, beneficiamentos, picadores	rodovias, aglomerados, placas, tijolos, pisos, vedações verticais.
2.	Casca de arroz (cinza)	Beneficiamento de arroz	tijolo sílica - cal, pozolana, produção de cimento

Fonte: Cincotto, 1988

No caso de resíduos perigosos, que podem contaminar o lençol freático, deve-se empregar concretos com baixa relação água cimento para garantir a baixa permeabilidade. Em casos de resíduos não problemáticos, pode-se pensar em empregá-los na fabricação de blocos de concreto e de solo cimento para construção popular de baixo custo, em pisos industriais, em estacionamentos e em concretos convencionais, de modo geral para usos locais ou mais amplos, dependendo do volume existente.

O uso de resíduos como aceleradores de pega ou como ativadores de escória em cimentos de alto-forno são aplicações possíveis, demonstrando tanto o imenso potencial de utilização de resíduos como a necessidade de desenvolvimento técnico - científico que deveria ser apoiado e estimulado pelo governo, em consonância com uma política ambiental mais pragmática.

Segundo Ramaswamy (1983), o sucesso da utilização de materiais residuais na construção depende basicamente de dois aspectos:

- O primeiro está relacionado à competitividade econômica daqueles com os materiais tradicionais do mercado, o que envolve diretamente os custos de reciclagem para o desenvolvimento do novo produto. Dependendo das características de cada material, pode-se concluir que a solução mais conveniente, do ponto de vista técnico e econômico, seja a sua correta disposição em aterros.
- O segundo aspecto, envolve a questão da estabilidade e durabilidade de produtos que utilizam resíduos como matéria prima, principalmente com relação a componentes estruturais. As normas utilizadas para os materiais convencionais, muitas vezes, não se adequam à avaliação destes novos produtos, em função das características intrínsecas proporcionadas por cada resíduo. Seria difícil a elaboração de Normas que possam contemplar a utilização de todos os tipos de resíduos, mesmo porque a cada dia surgem novas alternativas. Mesmo nos países mais avançados nesta área, a normalização só contempla os resíduos com uso consagrado, como microssilica e cinza volante, por exemplo.

Face a estas dificuldades, a maioria dos países, incluindo o Brasil, tem adotado a utilização destes materiais alternativos a partir de análises laboratoriais que comprovam a viabilidade técnica do emprego.

Os principais alvos para a utilização dos resíduos industriais, agrícolas e urbanos na construção, tem sido as alvenarias (tijolos, blocos especiais, painéis, etc...) e o concreto. Neste

último, os empregos são variados, desde adição ou substituição parcial do cimento Portland, até o uso como agregado em seu estado natural ou processado. Na seção a seguir são relatados diversos estudos com os mais variados resíduos para emprego na construção.

2.5.1 Resíduos Agrícolas

2.5.1.1 Serragem

A serragem é um subproduto da indústria da madeira. Segundo Ramaswamy (1983), este material vem sendo utilizado como um agregado leve no concreto. Antes de utilizar este material é necessário fazer um pré tratamento, que pode ser, saturação em água seguida de uma lavagem das partículas, ou adição de cal no teor de 1/6 a 1/3 do volume de cimento que será utilizado. Outros tratamentos mais sofisticados, como cloreto de cálcio e sulfato de ferro, são necessários de acordo com as características da madeira.

Um dos principais problemas deste concreto é a alta retração apresentada, o que pode ser compensada em parte com o uso de areia, porém com perda da capacidade de isolamento térmico.

O Central Building Research Institute, de Roorkee na Índia, tem aproveitado este material para a fabricação de placas para portas e janelas, além de placas para isolamento térmico. A Tabela 1, do anexo B, apresenta algumas propriedades do concreto com serragem.

2.5.1.2 Cortiça

Subproduto da indústria de cortiça, os resíduos de grãos de cortiça tem sido usados na Índia, para produção de concreto leve com várias aplicações potenciais na construção civil (Ramaswamy, 1983). A Tabela 2, no anexo B, apresenta as propriedades do agregado de cortiça para uso no concreto.

2.5.1.3 Casca de Coco

A casca de coco, pela sua baixa densidade, pode ser usada como agregado leve para fabricação de concreto com funções de isolamento térmico ou placas para forro (Ramaswamy, 1983). As propriedades deste concreto são apresentadas na Tabela 3, do anexo B.

2.5.1.4 Casca de Arroz

A casca de arroz é um resíduo gerado na indústria de beneficiamento do arroz. Para cada tonelada de arroz industrializado, são gerados aproximadamente 200 kg de casca. Segundo Ramaswamy (1983), a casca de arroz vem sendo usada a vários anos na Índia, principalmente para a fabricação de blocos e painéis pré-moldados a serem utilizados em paredes divisórias.

No Brasil, Geyer et al (1993) relatam uma experiência realizada em Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, em que foi utilizada a casca de arroz para a confecção de um concreto leve para confecção de blocos usados na construção de uma unidade habitacional de baixo custo, com bons resultados.

2.5.1.5 Cinza de Casca de Arroz

A cinza de casca de arroz é gerada na queima da casca em fornos para a secagem de arroz ou a céu aberto para descarte. Segundo Mehta (1994), a cinza de casca de arroz quando produzida, por um processo de queima controlada, produz uma cinza rica em sílica amorfa, que pode ser incorporada na fabricação de cimento. Onde não é possível realizar um processo de queima controlada, a cinza de casca de arroz ainda pode ser um excelente material pozolânico para adição no cimento. Algumas propriedades físicas do concreto com cinza de casca de arroz estão na Tabela 4, do anexo B.

No Brasil, o estudo das possíveis aplicações deste resíduo tornou-se prioritário, uma vez que a sua utilização representa benefícios técnicos, econômicos, energéticos e ecológicos. O uso de cinza de casca de arroz como material pozolânico no concreto tem sido amplamente estudado por Isaia (1996), o qual demonstrou a viabilidade técnico-econômica para emprego deste material em concreto estrutural. Também merece destaque nesta área os trabalhos

desenvolvidos por Silveira et. all (1997) sobre as principais características e possíveis aplicações da cinza da casca de arroz na produção de materiais de construção.

2.5.1.6 Casca de Amêndoa de Palmeira

A casca de amêndoa é um subproduto da produção de óleo de palmeira e tem sido usada como um agregado leve no concreto, de acordo com estudos desenvolvidos por Okpala (1990) na Nigéria. Testes realizados por Okpala (1990) mostram um concreto leve com massa unitária entre 1450 kg/m^3 e 1750 kg/m^3 , com propriedades de resistência à compressão adequadas ao emprego estrutural. A Tabela 5, no anexo B, apresenta algumas propriedades deste concreto.

2.5.1.7 Compósitos de bagaço de cana com cimento

O bagaço é o resíduo lignocelulósico do colmo da cana de açúcar, produzido após esmagamento e extração do caldo. É formado por um conjunto heterogêneo de partículas, de tamanho variável, composto principalmente de fibras (43 a 52%), água (46 a 52%) e pequenas quantidades de sólidos solúveis (sacarose, cera) e não solúveis (terra, pedras) num total de 2 a 6% (Ramírez Sarmiento & Freire, 1996).

Aggarwal (1995) descreve uma investigação experimental que determina parâmetros como quantidade ótima de bagaço na mistura, pressão e tempo de cura, tempo de desmoldagem e método de produção do compósito, além de testes acelerados de deterioração.

Para a formação do compósito, o bagaço foi triturado e as partículas imersas em água contendo uma mistura química por 2 horas, após isso a água não absorvida foi drenada. As partículas de bagaço foram então misturadas com cimento Portland tendo 0.4 como relação água/cimento. A Tabela 6, do anexo B, apresenta as propriedades das partículas ou fibras de bagaço de cana e a Tabela 7 mostra as principais propriedades deste compósito.

As conclusões do estudo de Aggarwal afirmam que o bagaço de cana pode ser usado na produção de compósitos com cimento, utilizáveis na construção. Com relação à dosagem do compósito, recomenda 12-16% em massa de bagaço, pressão de cura 2-3 MPa e desmoldagem após 6 horas.

No Brasil, Ramirez & Freire (1996) relatam um estudo de tratamentos aplicados ao bagaço de cana-de-açúcar, com o objetivo de minimizar algumas deficiências deste material, como a incompatibilidade química com o cimento, instabilidade dimensional, vida útil limitada e o longo tempo de pega, devido à presença de açúcar. Neste trabalho as fibras de bagaço foram mergulhadas em água fervente por 30 minutos e, em seguida, lavadas em água corrente e postas a secar. Posteriormente as fibras passaram por um tratamento químico a base de silicato de sódio em combinação com sulfato de alumínio, tendo como finalidade mineralizar e imobilizar a matéria orgânica, reduzir absorção de água, reduzir a interferência nas reações de pega e propiciar melhor qualidade.

Segundo Ramirez & Freire (1996), tendo em vista os resultados experimentais obtidos, pode-se afirmar que a argamassa de cimento com fibras de bagaço de cana-de-açúcar, pode ser usada para obtenção de compósitos de boa qualidade, desde que sejam adotados métodos de tratamento adequado ao bagaço.

2.5.2 Resíduos da Indústria de Papel

Nolasco (1993) descreve estudo realizado visando a utilização de resíduos da indústria de papel na produção de materiais para a construção. Os resultados apontam a potencialidade de uso do referido resíduo na produção de materiais para vedação (painéis divisórios, placas para forro, blocos e tijolos), a partir de um compósito combinado com cimento Portland, além da possibilidade de uso como material para isolamento termo-acústico.

2.5.3 Resíduos da Indústria Siderúrgica

2.5.3.1 Microssílica

A microssílica é um subproduto da produção das ligas de ferro-silício em fornos elétricos de redução. Constitui-se de um pó aproximadamente cem vezes mais fino que o cimento, que contém, na maioria das vezes, um teor de SiO_2 maior do que 80%, denominado sílica ativa.

Este material tem seu potencial devidamente comprovado, pois devido ao seu tamanho reduzido (alta superfície específica) e ao alto teor de sílica, apresenta excelentes propriedades pozolânicas quando incorporado como adição ao concreto (Dal Molin (1995), Kulaskowski (1996), Schuler (1995)).

2.5.3.2 Cinza Volante

Cinza volante é um pó bastante fino, resultante da combustão do carvão mineral em usinas termoelétricas, coletado por meios mecânicos e eletrostáticos. A cinza volante possui SiO_2 e Al_2O_3 na forma amorfa, que é capaz de reagir com o Ca(OH)_2 , agindo portanto como um material pozolânico.

Segundo Alonso (1991), a produção mundial de cinza volante é estimada em 10.000.000 de toneladas por ano, sendo que somente 10% deste total tem sido utilizado.

Entre as aplicações da cinza volante na construção destacam-se: adição na produção de cimento, adição na produção de concreto (ver Quadro 1 do anexo B) e fabricação de agregados leves com densidade de aproximadamente 800 kg/m^3 e 5 a 9 MPa de resistência à compressão, além do uso como material fino de enchimento em rodovias e combinado com cal ou cimento para uso como sub-base.

Pera (1996) apresenta um estudo sobre o estado da arte, para o oeste europeu, do aproveitamento de alguns dos principais resíduos na indústria da construção. Segundo Pera (1996), grandes quantidades de resíduos vem sendo empregadas principalmente em rodovias, pavimentos, produção de cimento e asfalto, além de várias outras aplicações em potencial.

2.5.3.3 Escórias

Sub produto da produção de aço, segundo Pera (1996) a escória de alto forno granulada vem sendo utilizada de duas formas: Escória granulada em substituição ao agregado natural na construção de base e sub-base de rodovias, e como agregado leve a partir da pelotização da escória usado na estabilização de solos e na produção de blocos para a construção.

Outra aplicação relatada, é o uso de escória combinada com cimento Portland. Neste caso, os produtos de hidratação deste cimento composto agem como um catalisador na produção das reações cimentantes da escória granulada. Esta propriedade é amplamente explorada na produção de cimentos a base de escória, que podem conter proporções de 70% de escória. Os cimentos de escória são úteis para reduzir o calor de hidratação durante o endurecimento do concreto, possuem resistências iniciais menores mas a resistência final é equivalente aos demais.

Pera (1996) menciona ainda a utilização de escórias provenientes da incineração de resíduos sólidos municipais. Em 1989, foram produzidas aproximadamente 3 milhões de toneladas desta escória na Alemanha, com previsão de mais de 7 milhões até o ano 2000. Este material é geralmente usado como sub-base em rodovias. No entanto já existem estudos para o uso como um agregado mineral no concreto asfáltico.

Cincotto (1995) relata estudo desenvolvido no IPT, onde a escória de alto-forno granulada é usada como aglomerante.

2.5.3.4 Pó Oriundo do Forno Elétrico

Barbosa (1993) desenvolveu um estudo visando o aproveitamento do Pó Oriundo do Forno Elétrico da indústria siderúrgica, em combinação com cimento. As conclusões do trabalho mostram a viabilidade técnica desta aplicação, gerando um “cimento alternativo”, que obteve melhor desempenho para a proporção de 75% de cimento (tipo CII-E/32) e 25% de pó do forno elétrico.

2.5.4 Resíduos da Indústria Têxtil

Cheriat et all (1997) apresenta a problemática à respeito dos resíduos gerados na indústria têxtil no estado de Santa Catarina. O lodo gerado nesta indústria é tema de pesquisa naquele estado onde tenta-se encontrar soluções para o seu aproveitamento na construção civil, através de um processo de solidificação com cimento e cinza pesada.

2.5.5 Lodos de Estação de Tratamento de Esgotos

O lodo formado durante o processo de tratamento do esgoto nas chamadas ETES (Estação de Tratamento de Esgotos) é um produto de difícil disposição final. Embora já existam estudos a nível mundial sobre o problema, no Brasil ainda não há uma solução definitiva para o mesmo.

Tema de pesquisa recente no Brasil, Geyer et al (1997) relatam estudos que vem sendo desenvolvidos em Porto Alegre, visando a utilização deste lodo, após um processo de incineração, como insumo na produção de materiais de construção e obras na área de geotecnia. Até o momento os estudos compreendem a caracterização físico-química do material, além da análise das propriedades físicas e mecânicas, do uso da cinza de lodo como adição ao concreto em substituição ao cimento.

2.5.6 Resíduos da Indústria Coureiro Calçadista

Soares (1996) relata um trabalho para o aproveitamento de serragem de couro curtido ao cromo para a obtenção de compósitos utilizados em painéis. Após a análise de várias propriedades físicas, o autor recomenda as composições que obtiveram melhor desempenho para a aplicação estudada.

Masuro et al (1996) apresenta uma investigação para a caracterização e potencialidade da cinza da serragem cromada, verificando a viabilidade técnica destas como adição ao concreto, porém sem resultados satisfatórios até o momento.

2.5.7 Pneu Reciclado

Toutanji (1996), Eldin (1993) e Biel (1994) relatam experiências sobre a utilização de borracha de pneu reciclado, como agregado no concreto nos Estados Unidos. Os pneus são passados por um moinho onde a borracha é triturada e transformada em agregado com granulometria adequada.

Os trabalhos relatam experiências usando diferentes quantidades e tamanhos de agregado de borracha de pneu. A substituição do agregado graúdo normal por borracha de

pneu diminui pela metade os valores finais da resistência à compressão e à flexão. No entanto, as misturas estudadas apresentam um comportamento dúctil, sem ruptura brusca, sendo capazes de absorver grande quantidade de energia antes do concreto se desagregar e romper.

2.5.8 Resíduos de Construção e Demolição

A produção anual de resíduos de construção e demolição no oeste europeu é de aproximadamente 0.7 a 1 tonelada por habitante. Isto é duas vezes a quantidade de resíduos sólidos municipais (Desmyter, 1994 apud Pera, 1996).

Segundo a European Demolition Association (1992), a produção total de resíduos de construção e demolição para o oeste europeu é estimada em 215 milhões de toneladas no ano 2000. Deste total, 175 milhões virão de trabalhos referentes à demolição e 40 milhões serão resíduos de construção.

O desenvolvimento da tecnologia de reciclagem de resíduos de demolição de concreto começou em 1940-1950. A Rilem Report 6 (1992) apresenta um completo estudo sobre o estado da arte na utilização destes resíduos, mostrando que a maioria dos trabalhos tem pesquisado o uso como agregado reciclado em concreto estrutural, através da análise das propriedades físicas e mecânicas, além do comportamento ao longo do tempo.

Estas pesquisas tem desenvolvido agregados graúdos e miúdos reciclados, que produzem concreto com resistências satisfatórias quando usados isoladamente, em combinação com agregado natural.

A nível mundial tem se pesquisado a utilização dos resíduos de construções e demolições em argamassas, na moldagem de tijolos, nos contrapisos e principalmente nos leitos de rodovias. Hendriks (1987) indica a possibilidade de uso destes resíduos como agregados para concretos e também como bases para rodovias.

No Brasil, o primeiro trabalho sobre aproveitamento de resíduos de construção foi desenvolvido por Pinto (1986), visando o aproveitamento destes na produção de argamassas, com bons resultados. Maia (1993) estudou a reciclagem do resíduo de argamassa e tijolo cerâmico, concluindo que sua utilização é viável mesmo durante a construção. Já Medeiros (1995) relata a preocupação com a questão ambiental e a reciclagem de resíduos de construções e demolições.

O avanço da tecnologia de reciclagem de entulho de obra, a nível nacional, levou ao desenvolvimento de alguns projetos de aplicação, que envolvem o recolhimento de todo o entulho até uma usina central de reciclagem, onde este material é triturado e transformado em matéria prima, com os seguintes usos em potencial. (Pinto, 1996):

- Execução de base para pavimentação de vias
- Execução de habitações e outras edificações
- Execução de muros
- Execução de calçadas
- Contenção de encostas com uso de sacarias
- Produção de artefatos (guias, sarjetas, tubos)

Iniciativas como essa já podem ser observadas em várias cidades brasileiras, como São Paulo, São José dos Campos, Londrina, Piracicaba, Ribeirão Preto e, mais recentemente, Belo Horizonte, que possui a primeira instalação para produção de artefatos com uso exclusivo de resíduos reciclados como substitutos de agregados convencionais (Pinto, 1996; Corbioli (1996), Camargo, 1995).

2.6 CONSIDERAÇÕES À RESPEITO DA PESQUISA SOBRE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS EM CONSTRUÇÃO NO BRASIL

Cincotto (1995) aponta como um dos pontos relevantes para o desenvolvimento de estudos de aproveitamento de resíduos na construção, a classificação dos mesmos nas seguintes categorias, conforme estudos realizados no IPT em São Paulo:

- Grupo I - Resíduos e subprodutos de mineração
- Grupo II - Resíduos e subprodutos metalúrgicos
- Grupo III - Resíduos e subprodutos industriais
- Grupo IV - Resíduos municipais
- Grupo V - Resíduos e subprodutos agrícolas e florestais

O trabalho de Cincotto (1995) resume os resultados e conclusões obtidas até aquela data, para estudos que visaram o aproveitamento de resíduos em argamassas, como aglomerante e como agregado, e em estabilização de solos, para produção de tijolos. Os

resíduos abordados no estudo foram: a diatomita, escória de refino, escória de alto forno granulada, cal residual ou cal de carbureto, cinza volante, resíduo cerâmico, cinza de casca de mamona e de amendoim, bagaço de cana-de-açúcar e cinza de casca de arroz.

No Brasil, as pesquisas visando o aproveitamento de resíduos e subprodutos na construção começam a ganhar um novo impulso a partir da conscientização desta necessidade, e das vantagens de sua prática.

Em novembro de 1996, foi realizado, em São Paulo, o primeiro Workshop sobre reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil, reunindo pesquisadores nacionais na área, além de alguns especialistas estrangeiros. Neste evento foram apresentados trabalhos sobre aproveitamento de cinza volante, cinza de casca de arroz, cinza de serragem cromada, resíduos de madeira, resíduos da indústria calçadista, escória de alto forno, cinza de casca de eucalipto, entulho de obra, vinhaça², microssilica, bagaço de cana de açúcar, fibras vegetais, além de levantamentos sobre quantidade e diversidade de resíduos e sua potencialidade de aplicação em determinadas regiões.

Como contribuição ao desenvolvimento da pesquisa no país, este evento mostrou a necessidade de padronização dos métodos e técnicas empregadas nas pesquisas, além da elaboração de normas específicas, e de alterações na prática de incentivos governamentais à pesquisa na área de aproveitamento de resíduos. Neste aspecto, os esforços governamentais deverão dar prioridade àqueles que ainda necessitam da chamada pesquisa básica, deixando a transferência de tecnologia de materiais com potencial já conhecido a cargo da iniciativa privada.

Em novembro de 1997, outro evento reuniu os pesquisadores da área, em Canela, no Rio Grande do Sul. O I Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis dedicou boa parte da sua programação para a apresentação e discussão de pesquisas a respeito do aproveitamento de resíduos na construção civil. Os trabalhos apresentados versaram sobre resíduos da indústria siderúrgica, resíduos do corte de granito, cinzas pesadas de termelétricas, fibras de cana de açúcar, indústria têxtil, lodo de estação de tratamento de esgoto, resíduos de EVA, fibras de coco, bambu, além de outros resíduos vegetais. Também foram apresentados inventários mostrando os principais resíduos de Santa Catarina e suas possibilidades de valorização na construção civil.

² A vinhaça é um resíduo líquido do processo de obtenção do álcool de cana-de-açúcar. Rolim & Freire (1996), relatam estudos para o aproveitamento deste resíduo na fabricação de tijolos

Eventos como estes tem contribuído para a disseminação e conscientização, sobretudo no meio técnico, da problemática dos resíduos. No entanto, faz-se necessário uma política ambiental coerente e adequada ao momento internacional, pois enquanto em países como Japão, Holanda e Canadá os governos incitam a iniciativa privada a colaborar na busca de soluções para as questões, até mesmo no sentido de manter a competitividade de muitos setores, no Brasil corre-se o risco de se ficar atrelado a uma política estritamente fiscalizadora e conservadora, pela ausência da participação cooperativa governamental.

O volume e diversidade de resíduos industriais, domiciliares e de mineração, conforme podemos notar pelo número de trabalhos publicados nos eventos supra, tem crescido de tal maneira, que será absolutamente indispensável dispormos da maior gama possível de opções para tratá-los, se objetivarmos alcançar o desenvolvimento sustentável. A primeira e prioritária opção será a busca da redução de rejeitos na fonte, envolvendo tecnologia, pesquisa e aperfeiçoamento de recursos humanos.

Dentre as demais opções, a deposição em aterros deverá se manter durante um bom tempo ainda como procedimento mais utilizado, porém com tendência ao declínio. Deverão ser aumentadas substancialmente as técnicas de incineração e, principalmente, o co-processamento em fornos de cimento, processos que, se bem conduzidos, deverão contribuir de forma significativa para reduzir o passivo ambiental.

Como ficou evidente neste capítulo, a construção civil pode desempenhar um papel de grande relevância na questão ambiental, além de se constituir comercialmente em um excelente nicho de mercado para o setor privado no Brasil

3 CONCRETO LEVE

3.1 INTRODUÇÃO

Como o nome indica, o concreto leve diferencia-se do concreto comum, por sua menor massa. Esta é no entanto, muito mais uma descrição qualitativa do que uma definição. Em certa época, foi sugerido que o concreto leve poderia ser definido como o concreto resultante da utilização de agregados leves, definição que foi logo contestada pela consideração de que existem concretos leves que, de fato, não contêm agregados leves. (Short & Kinniburgh, 1967).

Em face dessa dificuldade de definição passou-se a considerar concretos leves aqueles cuja massa unitária, no estado seco, não ultrapasse 1600 kg/m^3 . Com a aplicação de elementos estruturais moldados com agregado leve, esse limite teve de ser revisto, porque as massas unitárias obtidas chegaram até 1840 kg/m^3 ou mais. Sem dúvida, ainda é um concreto bem mais leve que o comum, que costuma ter massa unitária em torno de 2400 kg/m^3 . (Sobral, 1994)

Segundo Verdú (1963), embora sejam comparados com os concretos convencionais pela natureza de seus componentes, os concretos leves têm usos completamente distintos. Quase nunca são usados visando a sua resistência, ainda que naturalmente deva-se levá-la em consideração para não provocar um conflito mecânico em uma estrutura determinada. Suas principais aplicações visam diminuir o peso das estruturas ou para conseguir melhor isolamento térmico.

Ao analisar o balanço entre as vantagens e desvantagens do concreto leve Sobral (1994), diz que verificam-se como vantagens sua baixa massa unitária e bom isolamento térmico e como desvantagens, sua menor resistência mecânica e custo elevado.

Outra característica, menos clara, porém não menos importante do concreto leve é a sua baixa condutividade térmica, propriedade que melhora com a diminuição da massa unitária. Segundo Short & Kinniburgh (1967), um muro sólido de concreto aerado de 15 cm de

espessura, proporciona um isolamento térmico aproximadamente quatro vezes maior que o de uma parede de tijolo maciço de 23 cm de espessura. Podemos dizer portanto, que elementos fabricados com concreto leve, podem auxiliar no condicionamento térmico natural dos ambientes, diminuindo as elevadas somas de recursos financeiros alocados em sistemas de condicionamento artificial.

Segundo Sobral (1994), ao lado dessas qualidades técnicas, alguns concretos leves têm o mérito adicional de possibilitarem a utilização de resíduos industriais, o que representa uma alternativa para regiões onde as jazidas de agregados graúdos e principalmente miúdos estão escasseando.

Apesar do concreto leve ter-se tornado mais divulgado neste século, Spratt (1960) cita que os romanos já o utilizaram para construir a cúpula de 44m de diâmetro do Pantheon, o Coliseu e outras estruturas a aproximadamente 2000 anos atrás.

Durante a I guerra mundial, a argila expandida foi empregada como agregado leve para a construção, em concreto armado de barcaças e navios nos Estados Unidos. Desde os anos vinte, tem se executado blocos de concreto com este material (Sobral, 1994).

Imediatamente após a II Guerra Mundial, o National Bureau of Standards (NBS) e o U.S. Bureau of Reclamation desenvolveram estudos paralelos para a determinação de propriedades de concretos feitos com uma grande variedade de agregados leves. Esses estudos e muitos outros, realizados em seguida, renovaram no início da década de cinquenta o interesse pelo emprego de concretos mais leves nas estruturas dos edifícios, lajes de pontes e na indústria de pré-moldados.

O concreto leve é hoje um material que encontra aplicação em diversas áreas na construção. As instituições normalizadoras internacionais, tem-se preocupado com a segurança de sua aplicação, para tanto, o American Concrete Institute (ACI), o Comité Euro-International du Béton (CEB) e a Fédération Internationale de la Précontrainte (FIP), se juntaram na preparação de um manual de projeto e tecnologia. (CEB, 1977)

3.2 TIPOS DE CONCRETOS LEVES

De acordo com Short & Kinniburgh (1967), existem três maneiras distintas de se conseguir fazer concretos leves:

- Eliminando as partículas mais finas da granulometria do agregado

- Substituindo o seixo ou a pedra britada por um agregado oco, celular ou poroso
- Introduzindo grandes quantidades de vazios no interior da massa de concreto.

O primeiro modo dá origem ao chamado *concreto sem finos*, o segundo ao concreto cujo nome é o do *agregado leve* empregado, e o terceiro ao concreto *aerado celular*, com gás ou de espuma. A Fig. 3.1 ilustra esquematicamente estes três tipos de concretos leves.

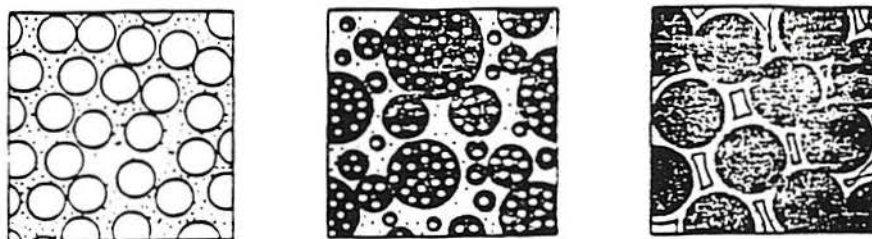


FIGURA 3.1 - Os três tipos fundamentais de concreto leve
Fonte: Short & Kinniburgh, 1967)

É claro que podem ser obtidos concretos leves com a combinação desses três tipos, como o concreto sem finos com agregados leves e o concreto aerado com um filler leve. A Fig. 3.2 apresenta os diversos tipos conhecidos de concretos leves.

A Réunion Internationale de Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions (RILEM), tem se preocupado bastante com a variedade de concretos leves que vêm sendo executados em vários países e, por isso, através da sua Comissão Técnica LC 2 - Concretos Leves, tem procurado classificá-los tendo em vista, em primeiro lugar, a utilização e a natureza dos ensaios a realizar e, em segundo lugar, a avaliação e interpretação dos resultados. No Quadro 3.1 encontra-se essa classificação funcional segundo a RILEM, 1978.

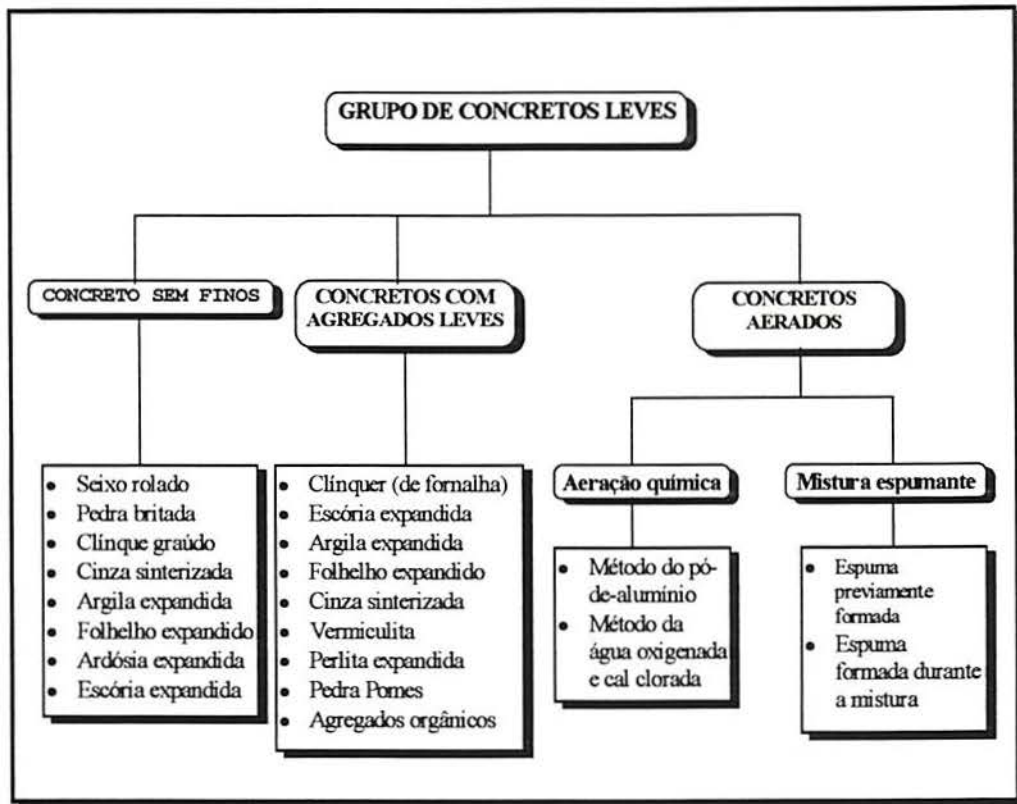


FIGURA 3.2 - Grupos de concretos leves

Fonte: Short & Kinniburgh, 1967

QUADRO 3.1 - Classificação funcional dos concretos leves

CONCRETOS DE AGREGADOS LEVES			
<i>Classe</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>
Utilização no concreto	Construção	Constru. e isolamento	isolamento
Densidade³ (kg/m³)	< 2000	Não estipulada	Não estipulada
Resistência à compressão (MPa)	> 15,0	>3,5	> 0,5
Coefficiente de condutividade térmica (W/mK)	-	< 0,75	< 0,3
CONCRETOS AERADOS			
<i>Classe</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	
Utilização no concreto	Construção e isolamento	Isolamento	
Densidade (kg/m³)	Não estipulada	Não estipulada	
Resistência à compressão (MPa)	> 2,5	> 0,5	
Coefficiente de condutividade térmica (W/mK)	< 0,75	< 0,3	

Fonte: RILEM, 1978

³ O termo densidade encontrado na bibliografia refere-se a massa unitária do concreto

Os concretos leves de baixa massa unitária são utilizados, principalmente, para isolamento térmico. Suas massa unitárias raramente excedem 800 kg/m^3 , e seus coeficientes de condutividade térmica são também baixos, resultando altos valores para as características de isolamento. Por outro lado, são baixos os valores da resistência à compressão que ficam em torno de 0,7 MPa a 7,0 MPa (Sobral, 1994).

No outro lado da escala encontram-se os concretos leves estruturais, que são geralmente feitos com argilas, folhelhos, ardósias ou escórias expandidas e cinza volante aglomerada. Segundo Sobral (1994), a mínima resistência à compressão admissível é, por definição 17,5 MPa, mas há concretos leves estruturais de até 42,0 MPa de resistência à compressão. Os concretos leves de moderada resistência, se situam entre os dois citados anteriormente, sendo usados em funções não estruturais.

3.2.1 Concreto celular

Os concretos celulares, impropriamente chamados de concretos, pois na realidade são argamassas, se obtém, acrescentando à pasta produtos que ao reagir produzem gases que formam bolhas, ou acrescentando ao concreto bolhas previamente formadas. O agente produtor de gases mais utilizado é o pó de alumínio. A quantidade de água a adicionar deve ser tal que se obtenha uma consistência cremosa (Verdú, 1963)

Os concretos celulares possuem como agregado, areia natural ou industrializada. Nestes concretos o agregado funciona em parte como enchimento e em parte como um reagente químico com o aglomerante, o qual pode ser cimento Portland, cal ou mistura dos dois. Os concretos celulares podem também não conter agregados, ou seja, conter apenas cimento puro, sendo nessa condição usados apenas com baixas massa unitárias. O concreto celular pode ser produzido no amplo intervalo de massa unitária que vai de 250 a 1920 kg/m^3 (Senai, 1976).

Quanto as propriedades deste concreto, a resistência à compressão oscila entre 3 a 6 MPa, sendo diretamente proporcional a massa unitária do concreto. Como principal característica do concreto celular, identifica-se a alta capacidade de isolamento térmico, devido a presença de bolhas de ar na sua constituição.

3.2.1.1 Processos de fabricação

Segundo Senai (1976) as principais formas de obtenção de concreto celular são:

1. Pela formação do gás por reação química dentro da massa, durante a sua fase líquida ou plástica, parecido com o processo de expansão dos produtos de padaria, onde o fermento reage com a massa. Nesse processo geralmente usa-se o pó de alumínio.
2. Outro processo é pela introdução de ar dentro da massa contida no misturador, seja por intermédio de uma espuma estável preformada, semelhante à espuma usada para combater incêndio, ou seja pela incorporação mecânica do ar, obtido nesse último modo pelo batimento contínuo de um agente espumante, de maneira semelhante à clara do ovo quando é batida até se tornar um creme leve ou espuma.

3.2.1.2 Aplicações

Além do uso para isolamento térmico, é também empregado em processos construtivos baseados na montagem de elementos pré-moldados, como blocos, paredes de vedação e lajes, os quais ganham competitividade pela otimização da mão de obra, à racionalização dos materiais utilizados, à minimização de entulho e principalmente, pela elevada velocidade obtida para a produção de casas. (Filho, 1992).

3.2.2 Concreto sem finos

Como o nome indica este tipo de concreto é produzido apenas com aglomerante e agregado graúdo. A BS 111 (British Standard) diz que os requisitos de dosagem destes concretos devem garantir uma resistência mínima aos 28 dias de 2,8 MPa e que além disso, quando do seu lançamento na fôrma causem grandes vazios, sem segregação, evitando a formação de regiões com concentração da pasta de cimento.

A resistência depende do agregado e do consumo de cimento. A maior parte dos concretos sem finos são feitos com uma relação cimento : agregados entre 1:6 e 1:10 em volume.

A quantidade de água deve ser tal para que cada partícula do agregado fique recoberta por uma película brilhante de nata de cimento. Recomenda-se como ponto de partida iniciar com uma proporção 1:6 e relação água cimento 0,4 - 0,6 saturando os agregados em água antes da mistura.

3.2.2.1 Aplicações

Segundo Spratt (1960), o concreto sem finos tem sido usado para a confecção de painéis divisórios em edifícios de concreto armado, nos Estados Unidos. Outra utilização relatada por Spratt (1960), é o emprego na construção de estruturas de drenagem e também como sub-base de quadras de esportes.

3.2.3 Concreto com Agregados Leves

Concreto com agregado leve é obtido da mistura de cimento, agregado miúdo de peso normal ou qualquer outro agregado leve com granulometria inferior a 5mm e agregado graúdo leve com granulometria geralmente entre 5 e 19 mm (Spratt, 1960).

A massa unitária do concreto com agregados leves depende do tipo e granulometria do agregado, do teor de umidade, da proporção da mistura e da compactação do concreto. Massas unitárias entre 300 a 800 kg/m³ são aplicáveis principalmente como isolamento térmico, neste caso, a resistência deve ser suficiente para resistir a esforços de manuseio. Valores intermediários entre 800 e 1350 kg/m³ são extensivamente utilizados na fabricação de elementos para vedação. A partir de 1350 kg/m³ são usualmente empregados em elementos de concreto estrutural (Spratt, 1960).

3.2.3.1 Agregados Leves

Segundo Mehta (1994), agregados minerais com massa unitária menor que 1120 kg/m³ são geralmente considerados leves, e têm aplicação na produção de concretos leves. A menor massa é devida à microestrutura celular ou altamente porosa. Cabe ressaltar que materiais

orgânicos, não devem ser usados como agregado por causa da sua falta de durabilidade no meio alcalino e úmido do concreto de cimento Portland.

3.2.3.1.1 Tipos de agregados leves

Os agregados utilizados na produção destes concretos podem ser naturais, naturais beneficiados ou subprodutos industriais. Entre os naturais citam-se a pedra pomes⁴, a lava porosa, o tufo vulcânico e o tufo calcário. Entre os naturais beneficiados os mais empregados são a argila expandida, o folhelho e a ardósia expandida, além da perlita⁵ e da vermiculita⁶. São subprodutos industriais a cinza volante sinterizada, a escória porosa ou expandida e os resíduos das minas de carvão (Sobral, 1994).

Maiores informações sobre as propriedades da cada agregado podem ser obtidas em Sobral (1994), uma publicação da ABCP, sobre concretos leves.

3.2.3.2 Produção e dosagem de concreto com agregados leves

Albrecht (1968) e United Nations (1972), citam que enquanto a resistência dos concretos normais depende fundamentalmente da resistência da argamassa, nos concretos com agregados leves o comportamento mecânico do material é função não só da resistência da argamassa, como também da resistência dos grãos do agregado graúdo. Portanto propriedades como, teor de agregado miúdo, diâmetro máximo do agregado e resistência do grão, tem influência direta na resistência do concreto.

Segundo Short & Kinniburgh (1967), cada tipo de agregado leve conduz a relações específicas no concreto, no que se refere a resistência e trabalhabilidade. Por exemplo a baixa massa é de fundamental importância se o concreto for usado como isolante térmico, já se o objetivo é a fabricação de blocos, um dos fatores que influem na seleção das propriedades do agregado é a facilidade de retirada imediata do bloco do molde.

⁴ A pedra-pomes é um material vítreo vulcânico, de cor clara, com aspecto de espuma. Apenas algumas variedades de estruturas mais resistentes podem ser utilizadas para fins estruturais, mas mesmo assim, o concreto apresenta absorção e retração elevadas.

⁵ A perlita é um agregado leve composto por silicato de alumínio amorfo, da família das obsidianas, isto é, uma rocha vulcânica vítrea. Esta rocha aquecida rapidamente até o ponto de fusão incipiente (900°C a 1100°C) expande-se devido à formação de vapor.

Segundo CEB/FIP (1977), as regras usadas no concreto convencional podem ser usadas para o concreto leve, mas três fatores devem ser considerados:

- A massa unitária baixa;
- A influência do agregado leve nas propriedades do concreto;
- A absorção de água do agregado.

A quantidade de cimento só pode ser prevista com alguma precisão através de misturas experimentais, usando uma determinada granulometria do agregado leve. A quantidade de água na mistura de um concreto leve consiste da água livre mais a água absorvida pelos poros do agregado. Porém a quantidade de água livre no concreto é de difícil determinação por causa da elevada absorção desta pelo agregado, exceção feita quando o agregado estiver saturado ou quando a superfície for impermeável (CEB/FIP, 1977).

Spratt (1960), recomenda que a melhor alternativa para chegarmos a uma dosagem ideal, é lançar mão de misturas experimentais, partindo de uma determinada proporção e ajustando as propriedades pretendidas, por tentativas.

3.2.3.2.1 Trabalhabilidade da Mistura

No estado plástico, muitos dos concretos com agregados leves apresentam baixos valores para a trabalhabilidade registrada pelo abatimento do tronco de cone o que se deve ao baixo peso deste concreto, à aspereza da superfície e às arestas agudas das partículas do agregado. Em qualquer ocasião, porém, sobretudo quando se utiliza este concreto “in situ”, faz-se necessário uma mistura trabalhável, especialmente quando são usados procedimentos normais de moldagem.

Segundo Mehta (1994), considerações sobre a trabalhabilidade de concretos frescos feitos com agregados leves, requerem atenção especial porque em misturas com alta fluidez, o agregado tende a segregar e flutuar na superfície. Para combater esta tendência, muitas vezes, é necessário limitar o abatimento máximo e utilizar aditivo incorporador de ar (independente da resistência do concreto à ação do gelo). Aproximadamente 5 a 7% de ar incorporado são exigidos, geralmente, para baixar o consumo da água de amassamento, enquanto se mantém o abatimento desejado e se reduz a tendência a exsudação e a segregação. Conseqüentemente, as

⁶ Vermiculita são silicatos folheados que provêm da decomposição da mica, por ação principalmente metamórfica. Estes minerais apresentam a propriedade de esfoliação quando sujeitos ao aquecimento. Além disso sofre uma expansão que pode chegar a 20 vezes o volume inicial.

especificações dos engenheiros estruturais para o concreto leve incluem valores mínimos permissíveis para a resistência à compressão, valores máximos para a massa específica e o abatimento e ambos os valores mínimos e máximos para o teor de ar incorporado.

Em virtude da elevada porosidade dos agregados leves em geral, durante o processo de mistura do concreto, ocorre absorção de parte da água de amassamento por estes, prejudicando a trabalhabilidade do concreto. Para evitar este problema, Spratt (1960) e também CEB/FIP (1977), recomendam adotar a prática da pré - molhagem ou saturação em água, do agregado leve, antes de iniciar o processo de mistura., além do uso de misturas ricas em cimento.

A elevada absorção de água dos agregado leves, também tem influência direta na resistência à compressão do concreto, uma vez que é difícil determinar a quantidade exata de água absorvida, bem como o intervalo de tempo decorrido neste processo. Mehta (1994) comenta que a resistência mecânica, de concretos com esse tipo de agregado leve, esta relacionada diretamente com o consumo de cimento para um dado abatimento e não com um fator água/cimento.

Testes convencionais para medir a trabalhabilidade como o abatimento do tronco de cone, não são diretamente aplicáveis para estes concretos. Devido a baixa massa unitária do concreto leve, este teste conduz a uma escala de resultados muito limitada (entre 0 - 25 mm, mesmo para concretos com excelente trabalhabilidade), o que não garante precisão no ensaio. Short & Kinniburgh (1967) citam o fator de compactação como um método mais adequado para medir a trabalhabilidade de concretos leves.

3.2.3.3 Propriedades Principais

A maioria das propriedades dos concretos leves são muito sensíveis a granulometria dos agregados, por isso uma vez que se tenha determinado a composição ideal por tentativas de misturas é importante controlar a mesma CEB/FIP (1977).

A resistência dos concretos de agregados leves depende dos mesmos fatores que sua massa unitária, por essa razão sempre ha uma relação de proporcionalidade entre as duas propriedades. As investigações levadas a cabo em todos os países, permitem concluir que a resistência aumenta quando aumenta a massa unitária.

O boletim técnico das Nações Unidas (1972), mostra que a superfície do agregado também afeta consideravelmente a resistência à compressão. Agregados porosos permitem melhor fixação da argamassa na superfície do grão, criando uma ligação forte entre a matriz de argamassa e o agregado.

Um dos principais inconvenientes do concreto leve são as deformações higrométricas, causadas pela variação do grau de umidade atmosférica. A retração total de secagem de um concreto leve depende do tipo do agregado, do grau de ar incorporado e das pressões da mistura, enquanto que as deformações higrométricas dependem da permeabilidade do concreto. Este problema pode ser parcialmente contornado com a utilização de peças pré-fabricadas e curadas em auto-clave sob alta pressão.

Os Quadros 3.2 e 3.3, apresentam algumas propriedades dos principais tipos de concreto com agregados leves.

3.2.3.4 Aplicações

São muitas as aplicações dos concretos com agregados leves, mas basicamente podemos classificá-las em três categorias segundo Spratt (1960):

- Concretos estruturais
- Elementos de vedação
- Isolamento térmico

QUADRO 3.2 - Propriedades de alguns concretos de agregados leves

Tipo de agregado	Traço em volume (cim : agregado)	Densidade (kg/m³)	Resistência a compressão 28 d. (MPa)	Condutividade térmica - K (k.cal/m.h.°C)	Retração na secagem (%)
Vermiculita	1:8 / 1:6 / 1:4	400 / 480 / 560	0,7 / 0,9 / 1,2	0,1 - 0,2	0,35 - 0,45
Perlita	1:7 / 1:5 / 1:4	400 / 560 / 640	1,1 / 3,4 / 4,7	0,1 - 0,2	0,14 - 0,20
Partículas de madeira	1:4 / 1:3 / 1:2	640 / 880 / 1200	1,7 / 4,8 / 12,1	0,2 - 0,3	0,50-0,25

Fonte: Spratt, 1960

QUADRO 3.3- Propriedades de diferentes tipos de concretos leves

Tipo de concreto leve	Agregado	Massa unitária do agregado (kg/m³)	Densidade do concreto (kg/m³)	Resist. à compressão (MPa)	Cond. térmica - K (k.cal/m.h.°C)
Concreto aerado	-	-	400-800	1,4 - 4,9	0,075-0,174
Concreto parcialmente compactado	Vermiculita e perlita expandida	64-240	400-1120	0,5-3,5	0,093-0,248
	pedra pomes	480-880	720-1120	1,4-3,9	0,186-0,248
	escória espumosa	480-960	960-1520	1,4-5,6	0,186-0,372
	cinza sinterizada	640-960	1120-1280	2,8-7,0	-
	argila expandida	560-1040	960-1200	5,6-8,4	0,285-0,396
	escória de hulha	720-1040	1040-1520	2,1-7,0	0,298-0,496
Concreto sem finos	agregado normal	1360-1600	1600-1920	4,2-14,0	-
	agregado leve	480-1040	880-1200	2,8-7,0	-
Concreto estrutural	escoria espumosa	480-960	1680-2080	10,5-42,2	-
	cinzas sinterizadas	640-960	1360-1760	14,0-42,2	-
	argila expandida	560-1040	1360-1840	14,0-42,2	-

Fonte: Short & Kinniburg, 1967

A Figura 3.3 apresenta aproximadamente as massa unitárias no estado seco, de concretos com diferentes tipos de agregados leves, associadas às suas aplicações, na idade de 28 dias.

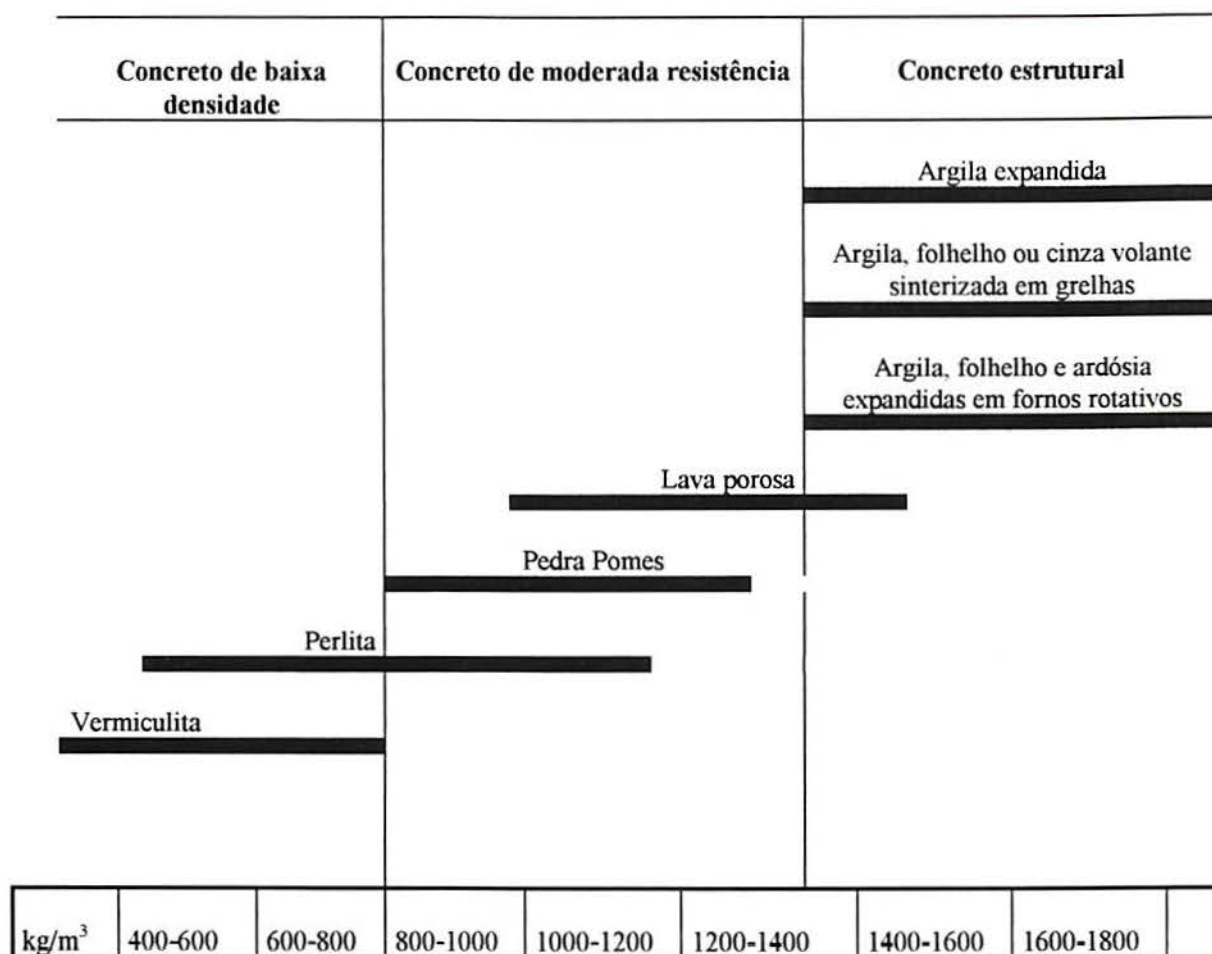


FIGURA 3.3 - Classificação e emprego dos concretos leves de acordo com a densidade
 Fonte: ACI, apud Sobral, 1994

3.2.3.5 O Concreto com Poliestireno Expandido

O poliestireno expandido é o agregado leve, cujas propriedades físicas e mecânicas mais se aproximam às do agregado de EVA. Embora a massa unitária do poliestireno (12 a 25 kg/m³) seja inferior a do EVA (100 a 107 kg/m³), as características resilientes do grão destes agregados e a elasticidade do material, são fatores que os distingue dos demais agregados leves.

As propriedades do concreto de EVA, que serão abordadas no capítulo 5, deverão portanto, ficar próximas às do concreto de poliestireno expandido. Sendo assim, visando auxiliar no desenvolvimento da parte experimental deste trabalho, é oportuno conhecer melhor o concreto de poliestireno expandido, principalmente no que se refere aos métodos de

produção, dosagem, características da mistura fresca e endurecida, e uso deste material na construção civil. Cook (1983) relata um estudo bastante completo sobre este concreto.

É classificado como um concreto muito leve tendo como principal propriedade o alto isolamento térmico. A resistência adequada pode ser obtida em função da massa unitária do concreto. É usado principalmente na confecção de painéis pré-fabricados não portantes, blocos sólidos e vazados para vedação e painéis sanduíches leves, bem como sub-base de rodovias onde a geada e o frio comprometem a estabilidade do “subgrade” (Cook, 1983).

A resistência à compressão é função da massa unitária e do consumo de cimento, podendo chegar até 15 MPa, com massa unitárias de até 1600 kg/m³, no entanto é mais comum o uso com massas unitárias entre 600 a 1000 kg/m³. Nesses casos as características exigidas são boa trabalhabilidade da mistura e resistência adequada para resistir a pequenos esforços.

Até a massa unitária de 600 kg/m³, consiste de uma mistura de partículas de poliestireno expandido, cimento e água. Acima disto, as partículas ocupam entre 60 e 70% do volume e a areia também é usada como agregado.

A dosagem não é baseada na resistência como no concreto convencional, mas sim, consiste em encontrar um ajuste adequado entre a massa unitária, isolamento térmico, resistência e custo. A consistência deste concreto requer atenção especial, pois a dificuldade em umedecer as pérolas de poliestireno expandido e a sua baixa massa unitária prejudicam a trabalhabilidade para os concretos mais leves. Cook (1983) recomenda o uso de aditivos com capacidade para aglutinar o agregado de poliestireno expandido e o controle da fluidez da pasta como alternativas para contornar essa deficiência. Já Sommer (1975), relata que usando partículas com diâmetro máximo de 2 mm para uma consistência rígida ou plástica não é necessário o uso de aditivos.

Testes convencionais para medir a trabalhabilidade como o abatimento do tronco de cone ou “slump”, não são diretamente aplicáveis para este concreto, pois a baixa massa unitária não permite uma precisão satisfatória. Cook (1983), diz que não tem sido usados, ou imaginados, outros métodos para medir a consistência deste concreto, do que a análise visual. Experiências mostram que uma dosagem adequada tem a aparência de uma mistura seca com pouca coesão e uma consistência plástica ou rígida. Cinza volante e outros aditivos tem sido usados para melhorar a trabalhabilidade e diminuir o consumo de cimento.

No que se refere ao lançamento e cura deste concreto, Cook (1983) relata que se o concreto está bem dosado não segrega quando transportado pelos meios convencionais.

Quanto a compactação, somente é possível obter um certo grau desta para massa unitárias maiores que 600 kg/m^3 .

As propriedades mecânicas, a exemplo de outros concretos com agregados leves, são função da massa unitária. No entanto, devido às características inerentes do poliestireno expandido, a resistência à compressão deste concreto é sempre mais baixa quando comparada a massa unitárias similares com outros agregados leves.

A absorção de água aumenta com a diminuição da massa unitária do concreto, pois os vazios entre as partículas não são completamente preenchidos pela pasta de cimento. Devido a sua elevada porosidade, são necessários grandes cobrimentos para armadura no caso de uso em peças de concreto armado. Para este caso é recomendado, uma proteção externa com um revestimento de concreto normal.

O Quadro 3.4 mostra algumas propriedades do concreto com poliestireno expandido em função da sua massa unitária.

QUADRO 3.4 - Propriedades típicas do concreto com poliestireno expandido

Densidade (kg/m^3)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à flexão (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
200	0,3	-	-
400	1,0	0,5	0,8
600	2,2	0,7	1,0
800	3,9	0,9	1,3
1000	5,9	1,5	2,9
1300	8,8	2,5	-
1600	17,7	2,9	-

Fonte: Cook, 1983

4 O EVA (Ethylene Vinyl Acetate)

4.1 CONCEITO

De acordo com a cartilha do EVA editada pelo Centro Tecnológico do Couro, Calçado e Afins (CTCCA) de Novo Hamburgo, o EVA é um composto microporoso constituído pelos seguintes elementos:

- Resina de EVA
- Agente de expansão
- Agente reticulante
- Cargas
- Ativadores
- Auxiliares de processo
- Outros polímeros como borracha.

O copolímero EVA é obtido por polimerização, via radicais livres, do Etileno com Acetato de Vinila em reatores de alta pressão. Sua elevada homogeneidade na concentração de acetato de Vinila garante estabilidade no processamento, assegurando qualidade uniforme ao produto final.

4.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

A resina de EVA, componente mais importante da formulação, contém acetato de Vinila, cuja quantidade define as propriedades do composto de EVA. A medida que o teor de acetato de Vinila aumenta, suas propriedades tornam-se mais próximas à borracha ou PVC plastificado. Quando o conteúdo de acetato de Vinila é baixo, o EVA apresenta propriedades similares ao polietileno de baixa densidade (Prezotto, 1990). As resinas de EVA, comercialmente empregadas na produção de placas para solados, no Brasil, apresentam teor de acetato de Vinila entre 19% e 28%. (CTCCA, 1993)

Os copolímeros EVA, tanto podem ser sintetizados contendo somente uma pequena porcentagem (em peso) do acetato de Vinila (VA), como também podem conter 50% ou mais. Segundo esta característica, existem os seguintes tipos de EVA:

- EVA baixa concentração: até 20% VA
- EVA alta concentração: 20% até 50% VA

As principais características dos copolímeros de Etileno acetato de Vinila são as seguintes: (Ribeiro, 1995 e Triunfo, 1994)

- Excelente flexibilidade e tenacidade, mesmo a baixas temperaturas
- Elasticidade similar à da borracha
- Superior resistência às quebras sob tensões ambientais “Stress Cracking”
- Excelente transparência
- Atóxico
- Facilmente moldado por extrusão, injeção e filmagem (tubular) ou placas, podendo usar o processo de calandragem
- Baixo preço
- Trata-se de um material termofixo, ou seja, ao serem aquecidos com determinada temperatura, modificam permanentemente sua estrutura molecular, sofrendo, neste processo, uma reação química irreversível.

4.3 PRINCIPAIS APLICAÇÕES

A principal aplicação do EVA é na produção de chapas reticuladas e expandidas, para obtenção de solados, entresolas e palmilhas na indústria calçadista, a qual responde por cerca de 69% do mercado de EVA no Brasil (Prezotto, 1990).

Por outro lado, devido aos vários tipos existentes e as suas propriedades, é um material que abrange uma vasta área na indústria da transformação, pois pode ser processado via extrusão (filmes), calandragem (placas expandidas), injeção, sopro, adesivos e termoformagem (solados). Esta diversificação na processabilidade do produto permite atingir vários segmentos do mercado, em diversas áreas. A seguir apresentamos algumas das aplicações mais comuns deste material:

- Embalagens - alimentos líquidos e congelados, revestimentos de papel, tubos compressíveis, etc
- Vestuário - aventais, revestimento de fraldas, entretelas, etc
- Calçados - solados, entresolas e palmilhas
- Medicina - luvas cirúrgicas, dosadores, etc
- Comunicação e Eletricidade - fios flexíveis, revestimentos de cabos
- Agricultura - secadores, coberturas de estufas, mangueiras
- Asfalto - para alterar as propriedades dos ligantes e betuminosos
- Construção civil - painéis para forro de teto e pisos industriais
- Diversos - brinquedos flexíveis, flores artificiais, artigos esportivos, etc.

4.4 MERCADO

O EVA é um produto que possui o seu próprio mercado de aplicação, apesar de alguma interpenetração com outros materiais como o PEBD (Polietileno de Baixa Densidade) e o PVC.

A análise do mercado de EVA no Brasil, realizada por Prezotto (1990), mostra que o consumo total de EVA cresceu, na década de 80, a uma taxa de 40% ao ano, atingindo em 1989, por volta de 30.000 t/ano. O mesmo autor também previa um forte crescimento do consumo deste produto na década seguinte, principalmente em função do crescente consumo de EVA na área de solados. Outras aplicações, como laminação, revestimento por extrusão e outros materiais expandidos, são apontadas com bom potencial para crescer e ocupar posições mais significativas no mercado, a exemplo dos mercados europeus e norte americano.

No início dos anos 90, no entanto, houve redução do consumo de EVA no Brasil, devido principalmente à crise enfrentada pelo setor calçadista, em virtude da concorrência com o calçado importado da China, o que acabou por ocasionar o fechamento de muitas fábricas de calçados brasileiras.

A partir de 1994, ocorre a retomada do crescimento, impulsionada pelo aumento da competitividade das indústrias brasileiras, que buscaram, dentre outras alternativas, a abertura de novas fábricas na região nordeste do Brasil, em busca de incentivos fiscais e mão de obra mais barata. Segundo dados do Anuário Estatístico da Indústria Química Brasileira, a produção de 20.527 t/ano de EVA, registrada em 1990, saltou para 33.070 t/ano em 1994,

aumento de 65%, demonstrando que o EVA é um produto ainda em expansão no mercado brasileiro.

Há cerca de três anos, já vem sendo utilizada, no Brasil, a tecnologia da aplicação de compostos de EVA em injeção, processo conhecido há uma década em outros países, realizado com equipamentos especiais, que proporcionam economia e vantagens de qualidade, em relação aos produtos de PVC e Poliuretano. Trata-se de um novo filão de mercado para os compostos de EVA, que segundo os detentores da tecnologia, poderá mudar o cenário tecnológico, comercial e ambiental dos transformadores de plástico brasileiros nos próximos anos (Cleto, 1996).

4.5 EVA NA INDUSTRIA CALÇADISTA

Na indústria do calçado, o EVA é, atualmente, um material muito utilizado na confecção de solados e palmilhas. Este material é fornecido para a indústria em forma de placas expandidas, nas quais é recortado o formato da sola, através de máquinas especiais. De acordo com as necessidades de cada empresa, estas placas podem ser produzidas em diferentes cores e tamanhos.

Uma das principais características das placas de EVA é a massa específica, que varia de acordo com a aplicação, conforme mostra a Tabela 4.1.

TABELA 4.1 - Massa específica (em kg/dm³) das placas expandidas de EVA de acordo com a sua aplicação

	Alta Solicitação	Média Solicitação	Baixa Solicitação
Sola	0,32 - 0,45	0,28 - 0,40	0,22 - 0,30
Entresola	0,32 - 0,40	0,25 - 0,32	0,18 - 0,25
Palmilha Interna	0,25 - 0,30	0,10 - 0,16	sem especificação

Fonte: CTCCA, 1993

4.5.1 Fabricação das placas expandidas de EVA

A indústria de produção de placas expandidas de EVA representa importante segmento na cadeia produtiva do calçado. Para a produção das placas de EVA, são utilizados os

materiais descritos no item 4.1, os quais são misturados em máquinas especiais e com temperaturas elevadas. A expansão da placa na etapa final é realizada em reatores de alta pressão. A fabricação de uma placa expandida de EVA é um processo descontínuo que envolve uma série de etapas tais como descrito na Fig. 4.1.

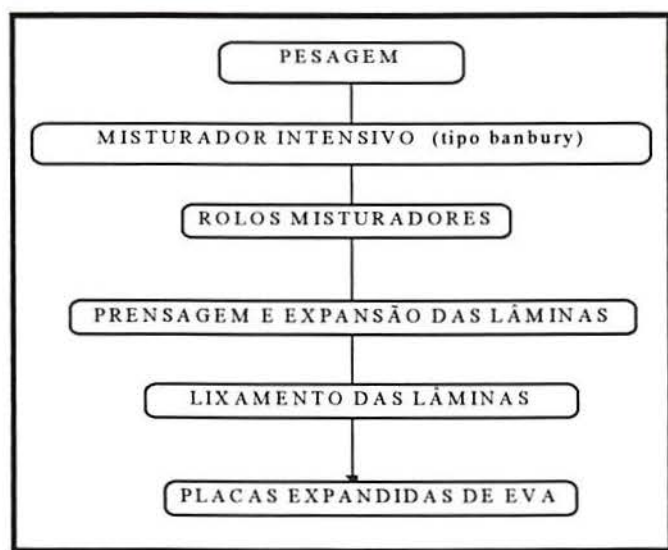


FIGURA 4.1 - Fluxograma do Processo de Fabricação das Placas Expandidas de EVA

4.6 O RESÍDUO DE EVA

4.6.1 Geração

Os resíduos de EVA podem ser divididos entre aqueles decorrentes do processo de fabricação das placas expandidas e os resíduos produzidos durante a fabricação do calçado.

Na produção das placas de EVA, os resíduos gerados consistem basicamente em sobras recortadas após o processo de expansão das placas e do pó de EVA, obtido no processo de lixamento das placas na fase de acabamento. Estes resíduos representam em torno de 2% a 3% da produção, de acordo com dados fornecidos por algumas empresas do setor, e já são quase que totalmente reaproveitados, como cargas, no processo de fabricação das placas.

Nas fábricas de calçado, ocorre a geração seqüencial de dois tipos de resíduos decorrentes do EVA: O primeiro, se refere aos retalhos das placas expandidas de EVA, oriundos do processo de corte da sola, entresola ou palmilha do calçado. O segundo diz

respeito ao pó gerado, durante lixamento da sola na fase de acabamento do calçado. A Fig. 4.2 registra o depósito de resíduos no pátio de uma fábrica de calçados.



FIGURA 4.2 - Detalhe dos retalhos de EVA, depositados no pátio de uma fábrica de calçados.

Neste trabalho, em virtude das limitações sempre existentes em dissertações de mestrado, nos limitaremos a verificar as possibilidades de utilização dos retalhos das placas de EVA na construção civil, ficando a utilização do pó de EVA como sugestão para estudos posteriores.

4.6.2 Quantidade Produzida e Disposição do Resíduo

Segundo os dados coletados na fase inicial desta pesquisa, em algumas empresas produtoras de calçados na região do Vale dos Sinos no RS, foi constatado que a incidência de resíduo varia de 12% a 20% sobre o consumo de EVA das fábricas, dependendo do processo empregado no corte, conforme mostra a Fig. 4.3.

A partir do conhecimento destes índices e buscando informações a respeito da produção média anual de placas de EVA no anuário estatístico da indústria química, foi possível estimar que a produção média de resíduos de EVA, no ano de 1994, foi ao redor de 550 t/mês ou 3055m³/mês, considerando que o resíduo “in natura” possui massa unitária em torno de 180 kg/m³, de acordo com dados da Fundação Estadual do Meio Ambiente do RS.

Até o momento, estes resíduos vem sendo depositados em áreas a céu aberto, conforme mostra a Fig. 4.4, gerando problemas ambientais que vão desde a poluição visual de

áreas degradadas pela presença dos resíduos de EVA, passando pela proliferação de insetos e pequenos animais, até a ameaça de combustão do material.

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

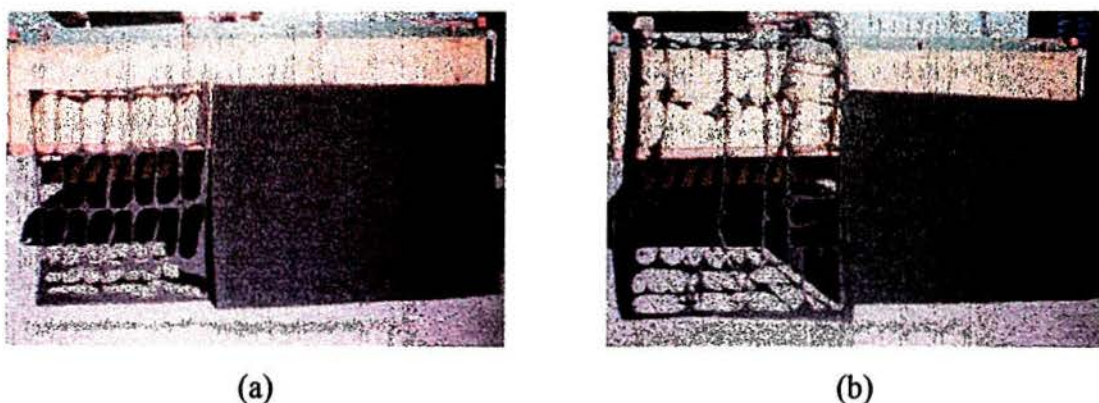


FIGURA 4.3 - Detalhe de dois processos de corte da sola:

- (a) corte com máquina convencional, gerando até 20% de resíduo
 (b) corte com máquina computadorizada que aumenta o aproveitamento da placa, reduzindo a geração de resíduo para cerca de 12%.



FIGURA 4.4 - Depósito de resíduo de EVA em uma área da região metropolitana de Porto Alegre

É oportuno lembrar o grande paradoxo entre a indústria de calçados e os resíduos por ela gerados: A indústria calçadista dispõe continuamente de novas tecnologias de produção, além de equipamentos sofisticados, matérias-primas e componentes com muitas melhorias, visando atender o ritmo quase alucinado de novos *designs*, desenvolvidos por profissionais que, por sua vez, encontram-se em permanente aprimoramento para atender as exigências

sempre maiores dos consumidores. No entanto, o encaminhamento dos resíduos para aterros, feito pela maioria das indústrias, ainda se mantém o mesmo há mais de 20 anos.

A reciclagem de resíduos industriais para o reaproveitamento em outros setores da economia constitui tema de pesquisa ainda incipiente no Brasil. O setor calçadista não foge a esta regra, as iniciativas de que se tem notícia, ainda são muito tímidas, face a dimensão do problema. As empresas têm optado por tentar burlar a fiscalização ambiental, depositando o resíduo sem maiores cuidados em áreas de difícil acesso, que estão se tornando cada vez mais raras.

Já é tempo de despertar a consciência dos geradores do resíduo para as vantagens do investimento em programas de reciclagem e reaproveitamento, que poderão representar uma nova fonte de receita. O desconhecimento das chances de reutilização e reciclagem de materiais residuais é problema tão grave quanto o da falta de espaço para dispô-los adequadamente.

4.6.3 Aproveitamento do Resíduo de EVA na Construção Civil

Uma alternativa que parece promissora, para a solução parcial ou total dos problemas gerados pelo resíduo de EVA, é a reciclagem dos mesmos e o seu reaproveitamento na construção civil, transformando-os em um agregado leve, que poderá vir a ser empregado na confecção de concreto e artefatos de cimento. Como principais propriedades do EVA que indicam um potencial uso na construção civil, destacamos a baixa massa unitária e as características de resiliência.

Para verificarmos a viabilidade técnica da utilização deste material na construção civil, as seguintes pontos serão descritos no decorrer do trabalho:

- Forma de obtenção e preparo do agregado de EVA, a partir dos retalhos de placas;
- Escolha de uma granulometria adequada;
- Ensaio de durabilidade e resistência ao ataque de fungos presentes na atmosfera;
- Análise das propriedades físicas e mecânicas do concreto feito com diferentes teores do agregado de EVA;
- Análise do custo benefício para diferentes usos do concreto de EVA.

4.6.3.1 Obtenção do Agregado de EVA

Para a obtenção do agregado de EVA, os retalhos das placas são triturados em um moinho de facas rotativas, conforme mostra a Fig. 4.5. Nenhum tratamento especial foi dispensado aos resíduos antes da moagem, a não ser uma redução manual no tamanho dos retalhos para facilitar a introdução dos mesmos no moinho. O tamanho do grão de agregado a ser obtido pode ser controlado trocando a abertura da peneira de saída do moinho.



FIGURA 4.5 - Detalhe do moinho utilizado para obtenção do agregado de EVA

O custo para a obtenção do agregado de EVA por este método, se restringe aos gastos com a moagem dos retalhos das placas. Trata-se portanto de um processo barato, que não necessita de mão de obra especializada e que pode ser otimizado para produção em larga escala.

As principais características do agregado assim obtido, são a sua baixa massa unitária ($\pm 110 \text{ kg/m}^3$), a elevada absorção de água e a elasticidade das partículas. Comparado a outros agregados leves, o EVA, apresenta propriedades semelhantes a perlita ($40 - 200 \text{ kg/m}^3$) e Vermiculita ($60 - 200 \text{ kg/m}^3$), além do Poliestireno expandido cuja massa unitária mínima gira em torno de 12 kg/m^3 , enquadrando-se assim, na faixa dos agregados mais leves conhecidos atualmente (Cook, 1983).

5 PARTE EXPERIMENTAL

A parte experimental consta primeiramente de uma descrição dos materiais e métodos empregados na produção, moldagem e ensaios dos corpos de prova durante o trabalho.

Em virtude de se tratar do primeiro trabalho a abordar o aproveitamento dos resíduos de EVA no concreto, na seção referente aos materiais utilizados são descritos alguns ensaios exploratórios com diferentes tipos de agregado de EVA, a fim de termos um referencial para o desenvolvimento do programa experimental.

O objetivo desta investigação preliminar foi a escolha de um único agregado a ser usado no desenvolvimento do restante da pesquisa, através da análise das propriedades físicas e mecânicas do concreto fresco e endurecido. Para embasar esta decisão, além da análise da trabalhabilidade da mistura relatada anteriormente, foram utilizadas técnicas estatísticas de análise de variância (ANOVA), a partir dos resultados obtidos para a resistência a compressão.

Finalmente é descrito o projeto experimental utilizado na pesquisa, para análise das propriedades físicas e mecânicas do concreto de EVA. Também são descritos os resultados obtidos nesta análise para cada combinação de variáveis.

5.1 MATERIAIS EMPREGADOS

Os ensaios relativos ao cimento e à cinza volante foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), da Universidade Federal de Santa Maria. Para a caracterização dos demais materiais foi utilizado o Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

5.1.1 Cimento

Foi empregado o cimento Portland Pozolânico CPIV-32, por ser este o aglomerante mais facilmente encontrado no mercado de Porto Alegre e região.

Os ensaios de análise física do cimento foram realizados de acordo com as normas da ABNT, apresentadas nas Tabelas 5.1 e 5.2, juntamente com os resultados encontrados.

TABELA 5.1 - Propriedades Físicas do Cimento

Propriedades Físicas	Resultado
Finura: Resíduo na peneira 0,075 mm (NBR 11579)	0,79%
Superfície Específica Blaine (NBR 07224)	443 m ² /kg
Massa Específica (NBR 6474)	2830,00 kg/m ³
Resistência à Compressão (NBR 7215) 3 / 7 / 28 dias	16,1 / 22,9 / 36,8 MPa
Tempo de Pega (NBR 11581) início / fim	310 min / 372 min

TABELA 5.2 - Composição Química do Cimento (NBR 05742)

Perda ao Fogo	3,83%
SO ₂	30,82%
Al ₂ O ₃	10,06%
Fe ₂ O ₃	2,84%
CaO	43,59%
MgO	4,69%
K ₂ O	0,89%
Na ₂ O	0,13%
SO ₃	2,75%
Cal Livre	1,77%
Resíduo Insolúvel	0,3152%
Equivalente Alcalino	0,71%

5.1.2 Areia

A areia utilizada durante a pesquisa foi extraída por meio de dragagem do leito da bacia do Rio Guaíba. Foi utilizada areia média, a qual não sofreu processo de peneiramento nem lavagem para ser usada. A Tabela 5.3 apresentam-se as principais propriedades físicas da areia empregada.

TABELA 5.3 - Propriedades Físicas da areia empregada

Propriedade	Valor
Massa Unitária (NBR 7251)	1420 kg/m ³
Massa Específica (NBR 9937)	2600 kg/m ³
Diâmetro Máximo	2,4 mm
Módulo de Finura	2,50

A Tabela 5.4 mostra os resultados da análise granulométrica da areia e a Fig. 5.1 apresenta a curva granulométrica deste agregado.

Segundo os critérios da NBR 7211/83, esta areia pode ser classificada como areia média zona 3. A Fig. 5.1 mostra a curva granulométrica da areia utilizada, junto com os limites inferior e superior estabelecidos por esta norma para a areia média.

TABELA 5.4 - Análise Granulométrica da areia utilizada

Peneira (mm)	% Retida	% Retida acumulada
4,8	0	-
2,4	0,18	0,18
1,2	14,08	14,26
0,6	28,64	42,90
0,3	50,71	93,61
0,15	5,62	99,23
< 0,15	0,77	-
Total	100,00	250,18

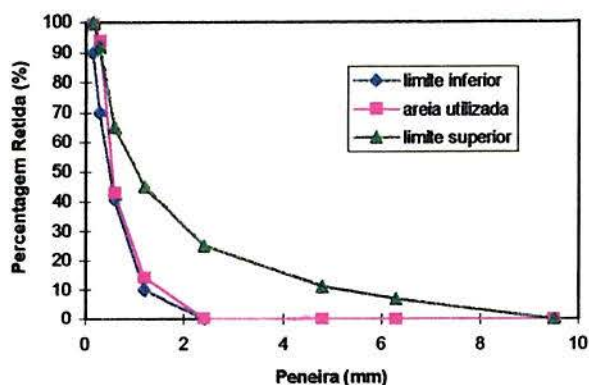


FIGURA 5.1 - Curva granulométrica da areia utilizada e limites estabelecidos pela NBR 7211/83 para a areia média.

5.1.3 Cinza Volante

Foi utilizada cinza volante proveniente do Pólo Petroquímico de Triunfo no RS. As principais propriedades físicas da cinza empregada são apresentadas abaixo.

- Material retido na peneira nº200: 18,48%
- Massa Específica (NBR 6474): 2000 kg/m³

5.1.4 Água

Utilizou-se, em todos os experimentos, água potável da rede de distribuição da cidade de Porto Alegre, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

5.1.5 EVA (Ethylene Vinyl Acetate)

Conforme abordado no capítulo 3, o concreto com agregados leves difere, em vários aspectos, do concreto normal, uma vez que as propriedades daquele são definidas pelas características do agregado leve empregado. Segundo CEB / FIP (1977), a granulometria e a densidade do agregado são duas das principais características que afetam o comportamento físico e mecânico desses concretos. Mehta (1994) relata que considerações sobre a

trabalhabilidade de concretos frescos feitos com agregados leves requerem atenção especial porque em misturas com alta fluidez, o agregado tende a flutuar na superfície.

Nesta seção são descritos alguns ensaios exploratórios com três granulometrias distintas do agregado de EVA, obtido conforme descrito no item 4.6.3.1, com o objetivo de analisar a influência das características específicas do EVA, nas condições de trabalhabilidade e homogeneidade do concreto fresco e no comportamento mecânico do mesmo, já que não se dispõe de dados a esse respeito. Esta etapa servirá para a escolha do agregado mais adequado a ser usado no restante do trabalho, para análise do concreto de EVA.

Foi utilizado, para efeitos comparativos, o traço 1:5 (cimento : agregados), expresso em volume, sem o uso de aditivos. Por se tratar de um estudo exploratório de traços, as percentagens de agregado de EVA investigadas, em relação ao volume total de agregados na mistura, foram de 60, 70 e 80%, conforme descrito no Quadro 5.1. Os percentuais utilizados se referem aos valores máximos e mínimos comumente encontrados na bibliografia (Spratt, 1960; Short, 1967 & Cook, 1983) sobre concretos com agregados leves.

QUADRO 5.1 - Experimento preliminar

	% EVA		
	60	70	80
EVA 1	I	II	III
EVA 2	IV	V	VI
EVA 3	VII	VIII	IX

O cimento e a areia utilizados são os descritos no item 5.1.1 e 5.1.2, respectivamente. As características dos três agregados de EVA empregados são apresentadas a seguir.

- **EVA1** - Agregado moído com diâmetro máximo de 12 mm;
- **EVA2** - Igual ao EVA 1, porém submetido a um tratamento térmico que consiste na permanência do agregado de EVA por trinta minutos em um recipiente contendo água a 100°C. O objetivo deste procedimento é aumentar a densidade do EVA, através da eliminação do agente de expansão responsável pelas bolhas de ar no interior do agregado. O agregado assim obtido passa a ter o diâmetro máximo igual a 9,5mm;
- **EVA3** - Agregado moído com diâmetro máximo de 6,3 mm, sem tratamento térmico.

As propriedades físicas e a curva granulométrica correspondente aos três agregados analisados neste estudo exploratório são apresentadas na Tabela 5.5 e na Fig. 5.2, respectivamente.

TABELA 5.5 - Principais características físicas dos agregados de EVA

Tipo	Massa Unitária (kg/m ³)	Granulometria		Absorção de água 24 h (%)
		Diâmetro máximo (mm)	Módulo de Finura	
EVA 1	104,8	12,5	5,8	62,2
EVA 2	301,5	9,5	5,3	29,8
EVA 3	108,3	6,3	8,0	88,2

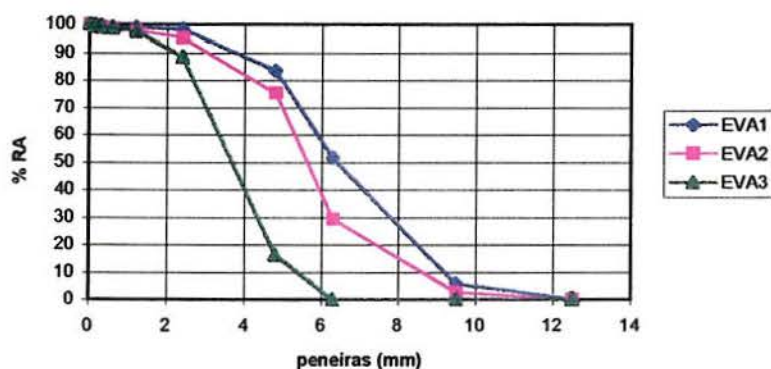


FIGURA 5.2 - Distribuição granulométrica dos agregados de EVA

Visando justificar a escolha de um dos três agregados por aspectos técnicos e econômicos, foram realizados ensaios de *trabalhabilidade*, *densidade* e *resistência à compressão* do concreto obtido com cada uma das misturas. A Tabela 5.6 apresenta os resultados das propriedades analisadas neste estudo exploratório.

TABELA 5.6- Resultados de resistência à compressão, densidade e trabalhabilidade encontrados com os três agregados

	Traços	% EVA	Massa unitária (kg/m ³)	fc 7d (MPa)	fc 28d (MPa)	abatimento (mm)	Graf (cm)
EVA 1	I	60	1233	1,21	2,07	10	30
	II	70	1054	0,88	1,20	0	-
	III	80	957	0,64	1,12	0	-
EVA 2	IV	60	1317	1,35	2,40	10	33
	V	70	1218	1,39	1,78	0,5	48
	VI	80	1050	1,06	1,24	0	-
EVA 3	VII	60	1284	1,60	2,32	0,5	33
	VIII	70	1189	0,87	1,73	0	37,5
	IX	80	1019	0,76	1,18	0	-

5.1.5.1 Análise dos Dados e Considerações

5.1.5.1.1 - Trabalhabilidade

Antes de comentar os resultados da trabalhabilidade do concreto de EVA, é preciso ressaltar, que conforme já foi abordado no capítulo três, métodos convencionais como o ensaio de abatimento não são diretamente aplicáveis para medir a trabalhabilidade de concretos muito leves (Cook, 1983).

Devido a baixa massa unitária do concreto produzido com agregados leves, a precisão na medida do abatimento não é totalmente satisfatória, uma vez que estes concretos apresentam abatimento inferior, se comparados ao concreto normal de trabalhabilidade similar. Segundo Short & Kinniburgh (1967), concretos de agregados leves de boa trabalhabilidade, permitindo fácil adensamento e compactação da mistura, apresentam abatimento entre 0 e 25 mm, tornando difícil, desta forma, determinar com precisão o grau de trabalhabilidade do concreto.

Assim, nos ensaios de trabalhabilidade realizados com o concreto de EVA foi usado, além do ensaio de abatimento, também o método do espalhamento do tronco de cone, regido pela NBR 9606, conhecido como índice de Graf. A Tabela 5.5 apresenta os resultados destes ensaios, onde pode-se comprovar os baixos valores registrados para o abatimento do tronco de cone, o que não confere precisão ao ensaio. A Fig. 5.3 mostra um detalhe do baixo valor registrado para o abatimento do tronco de cone com concreto do EVA.

O teste do espalhamento do tronco de cone se mostrou mais adequado na determinação da trabalhabilidade do concreto. Nas misturas com maior quantidade de agregado II, III, VI e IX, a falta de finos e de argamassa entre os grãos não confere a coesão necessária para a realização do ensaio, provocando a desagregação do corpo de prova no momento do ensaio.

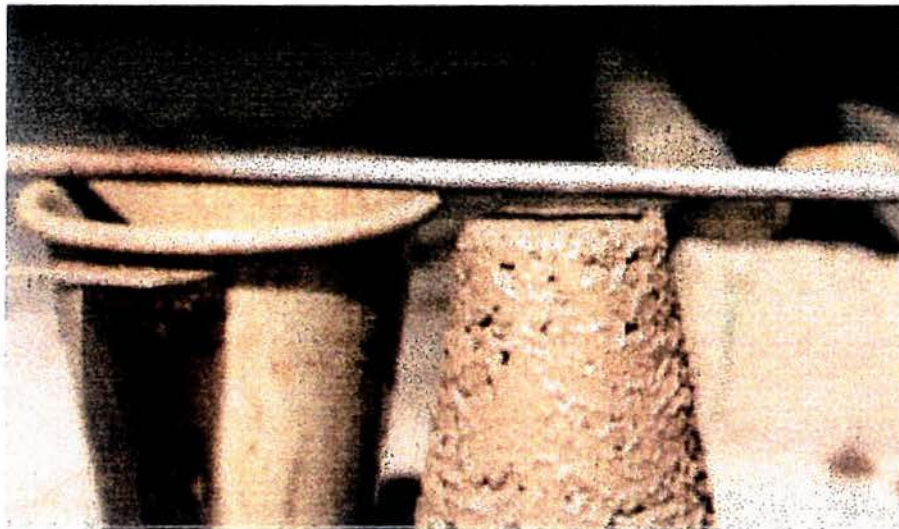


FIGURA 5.3 - Detalhe do ensaio de abatimento do tronco de cone

O teor de 60% de EVA conferiu boa homogeneidade à mistura, permitindo bom adensamento e compactação no molde. A análise das condições gerais de trabalhabilidade destas misturas, no entanto, revelou pouca plasticidade, mesmo com acréscimo de água à mistura, o que recomenda a investigação de traços mais ricos em cimento.

Os traços com 70% de EVA, apesar de apresentarem índices de Graf, em alguns casos maiores, como nas misturas V e VIII, não apresentam melhores condições de trabalhabilidade, pois o aumento destes valores foi provocado pelo desprendimento do agregado graúdo em virtude da falta de argamassa, conforme mostra a Fig. 5.4. O desprendimento foi mais acentuado com o agregado EVA 1, mais grosso.

Já nos traços com 80% de EVA, a falta de finos e de argamassa para preencher os vazios acarreta a desagregação completa do corpo de prova tronco cônico sobre a mesa de Graf (figura 5.4c), impedindo a determinação de qualquer índice. Nestes casos, a única maneira possível para estimar as condições de trabalhabilidade da mistura é através da análise visual, uma vez que se trata de um concreto com poucos finos.

O uso de aditivos incorporadores de ar, bem como de pozolanas ou de misturas mais ricas em cimento, certamente deverão auxiliar na melhoria das condições de trabalhabilidade.

A figura 5.4 mostra as condições de trabalhabilidade típicas para os teores de 60%, 70% e 80% de EVA evidenciadas com a mesa de Graf, utilizando o agregado EVA3, o qual apresentou o melhor desempenho neste aspecto.

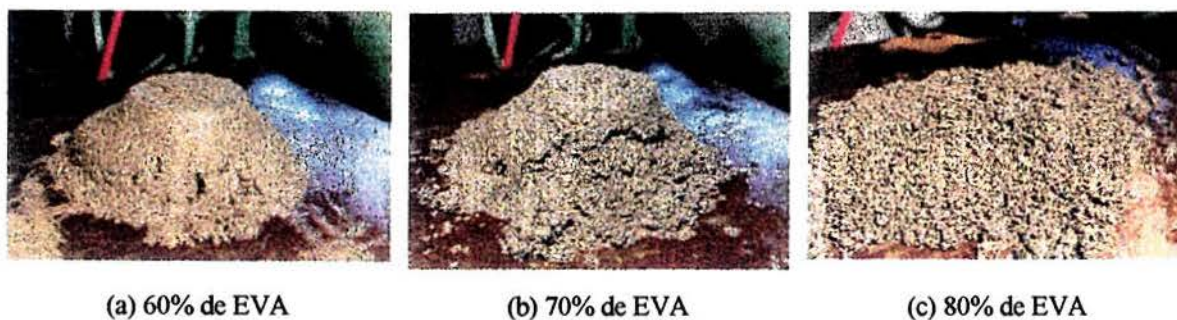


FIGURA 5. 4 - Determinação da trabalhabilidade Graf para o agregado 3

Após esta investigação preliminar, podem ser feitas as seguintes considerações em relação à trabalhabilidade do concreto:

- Os agregados com granulometria mais fina melhoram a trabalhabilidade do concreto;
- O agregado EVA 2 apresenta condições de trabalhabilidade semelhantes ao agregado EVA 3.

5.1.5.1.2 Massa Unitária do Concreto

Os valores encontrados para a massa unitária do concreto ficaram entre 900 kg/m^3 e 1320 kg/m^3 , o que, segundo a classificação proposta pelo ACI (1967), pode ser definido como um concreto leve de baixa massa unitária e moderada resistência. Esta é a mesma faixa dos concretos de pedra-pomes e de algumas escórias.

O agregado EVA1, de granulometria mais grossa, produziu o concreto mais leve e o agregado EVA2, o concreto mais pesado. A relação entre a massa unitária do concreto e a percentagem de EVA na mistura é praticamente linear para todos os agregados estudados, conforme mostra a Fig. 5.5.

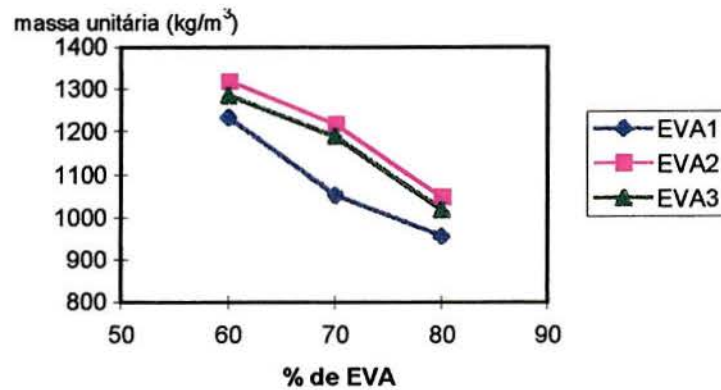


FIGURA 5.5 - Relação entre a % de EVA e a massa unitária do concreto

5.1.5.1.3 Resistência à Compressão

A resistência à compressão é função direta da densidade do concreto, a qual está associada ao volume de agregado leve presente na mistura. Conforme mostra a Fig. 5.6, uma relação praticamente linear é observada entre o teor de EVA 2 e EVA 3 e a resistência à compressão do concreto. A exceção à regra foi o agregado EVA 1, que devido ao maior tamanho do grão, apresentou resistências similares para os teores mais elevados.

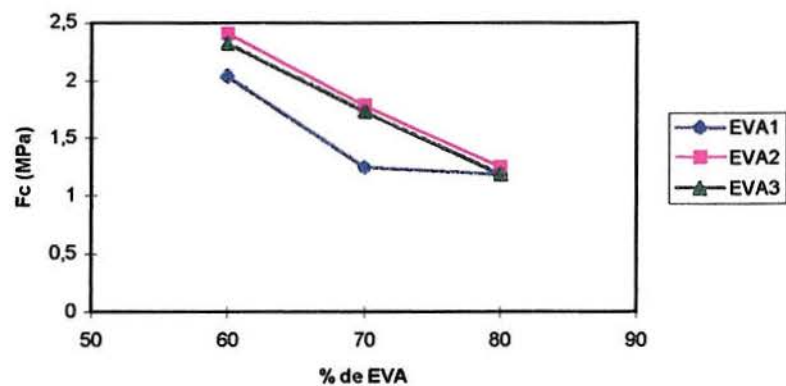


FIGURA 5.6 - Resistência à compressão em função do teor de agregado de EVA

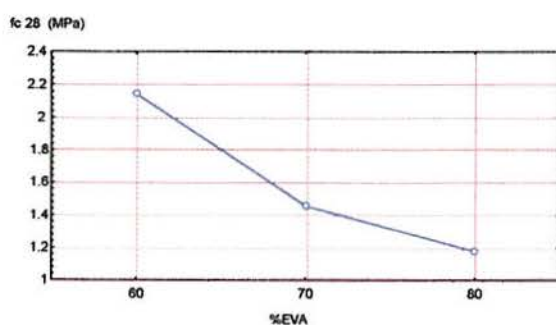
A Tabela 5.7 mostra que a porcentagem de EVA, bem como o tipo de agregado e a interação entre estas duas variáveis, representam efeitos significativos na resistência à compressão do concreto. Percebe-se, ainda, que a significância da porcentagem de EVA se revela bem mais pronunciada que as demais. Para elucidar melhor os resultados foi realizada também uma CMM (Comparação Múltipla das Médias) de resistência obtidas com os três agregados (EVA 1, EVA 2 e EVA 3).

A Figura 5.7 (a) atesta a significância do efeito do teor de EVA na mistura, mostrando que existe diferença significativa entre as médias. Já a Figura 5.7 (b) mostra que existe diferença significativa entre os valores de resistência encontrados para o agregado um com relação aos demais, porém, não há diferença significativa entre os tipos dois e três.

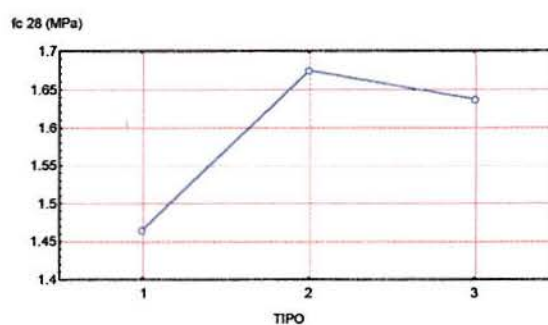
TABELA 5.7 - Análise de Variância para Resistência a compressão

Fonte de variação	GDL	MQ	F _{calc.}	F _{0,05}	Significativo
Traço (A)	2	1,491239	410,4327	3,89	S
% de EVA (B)	3	0,75039	20,6529	3,49	S
AB	6	0,090414	24,8846	3,00	S
Erro	12	0,003633			

GDL - Graus de liberdade; MQ - médias quadradas; F - fator F, calculado; F_{0,05} - valor de F tabelado a um nível de significância de 5% (distribuição de Fisher); S - efeito significativo e NS - efeito não significativo.



(a)



(b)

FIGURA 5.7 - Comparação Múltipla de Médias para a % de EVA (a) e tipo de EVA (b)

Através da análise dos aspectos de trabalhabilidade e da resistência a compressão, as seguintes considerações finais podem ser elaboradas:

1. Os agregados EVA 2 e EVA 3, de granulometria menor, mostraram melhor desempenho nas duas propriedades;
2. Os resultados de resistência à compressão para o concreto com o agregado EVA2, obtido por meio de um processo térmico após a moagem, e para o EVA3, obtido por simples moagem das aparas, não mostraram diferenças significativas. *Portanto, não há vantagem técnica que justifique onerar o custo de obtenção do agregado de EVA por aquele processo.*

Estas considerações levam a concluir, por critérios técnicos e econômicos, em favor do agregado natural, com granulometria próxima à do agregado EVA3.

O custo de obtenção deste agregado consiste basicamente na moagem de aparas vindas das fábricas de calçados. Como a moagem é feita em um moinho de facas rotativas, com uma peneira selecionadora para o tamanho dos grãos, o custo aumenta à medida que diminui a granulometria.

Embora o agregado EVA3, com diâmetro máximo de 6,3mm, tenha apresentado os melhores resultados, o custo de obtenção deste agregado por moagem foi considerado alto. Por isso optou-se por trabalhar, no restante da pesquisa, com o agregado obtido por meio de moagem em uma peneira de malha circular com 10mm de diâmetro.

O agregado de EVA assim obtido, consiste em uma mistura heterogênea das sobras de placas de solas e entresolas oriundas das fábricas de calçados. As características físicas e a curva granulométrica do agregado empregado no desenvolvimento do programas experimental são apresentadas na Tabela 5.8 e na Fig. 5.8.

TABELA 5.8 - Características do agregado escolhido

Massa específica (kg/m ³)	Massa unitária (kg/m ³)	Diâmetro Máximo (mm)	Módulo de Finura	Absorção de água 24 horas (%)
259,4	107,00	9,5	5,4	69,5

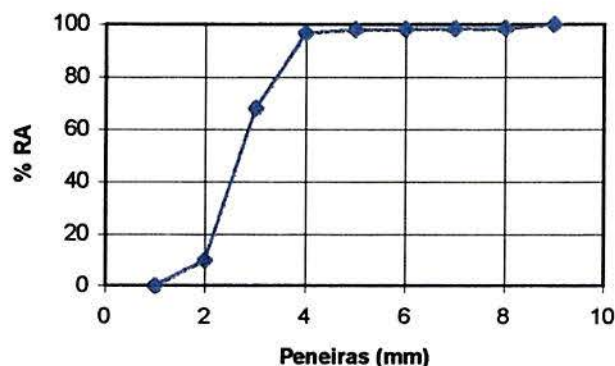


FIGURA 5.8 - Curva granulométrica do agregado de EVA empregado no desenvolvimento desta pesquisa

Uma vez concluídas as análises dos traços exploratórios e definido o agregado a ser usado, passou-se aos ensaios subsequentes direcionados à conclusão da pesquisa, os quais estão descritos na seção 5.3, juntamente com o projeto experimental utilizado para analisar todas as propriedades do concreto de EVA. A seguir são relatados os métodos utilizados e os ensaios realizados no desenvolvimento deste trabalho.

5.2 MÉTODOS UTILIZADOS

Nesta seção são descritos os métodos utilizados no preparo dos materiais, na mistura, moldagem e cura do concreto. Também são descritos os métodos e técnicas dos ensaios realizados.

5.2.1 Manufatura dos Corpos de Prova

5.2.1.1 Proporcionamento dos materiais

Devido à grande diferença entre a massa unitária dos materiais empregados (cimento, areia e EVA), *todos os traços estão expressos em volume*. Para o proporcionamento dos materiais em laboratório, optou-se pelo método gravimétrico, através da conversão por meio

da massa unitária, do volume em massa de material. Este processo foi empregado por possuir um nível mais apurado de precisão. A areia utilizada foi seca em estufa antes de ser usada, a fim de serem evitados erros de proporcionamento causados pela umidade da mesma.

5.2.1.2 Pré-Molhagem do agregado de EVA

O agregado de EVA, obtido através da moagem em um moinho de facas, apresentou absorção de água em torno de 75% do peso. Parte desta absorção ocorre logo que o agregado é colocado em contato com a água, mas outra parte é lenta, podendo levar dias para se ter uma completa saturação. A Fig. 5.9 apresenta a curva de absorção do agregado empregado nos experimentos.

Devido à alta absorção, parte da água de amassamento acaba sendo absorvida pelos poros do agregado, prejudicando a trabalhabilidade da mistura. Para minimizar este fenômeno, procedeu-se ao pré umedecimento do agregado, imergindo o mesmo em baldes com água, onde permaneceu por 20 minutos, o que corresponde a saturação em torno de 50%.

O tempo de imersão foi o intervalo entre duas misturas sucessivas na betoneira, tendo sido considerado adequado, pois o agregado de EVA já havia absorvido quantidade suficiente de água para não dificultar a trabalhabilidade das misturas. Para evitar a flutuação do agregado de EVA na superfície da água, foi necessário colocar uma barreira (uma peneira no caso) para mantê-lo totalmente imerso, conforme mostra a Fig. 5.10.

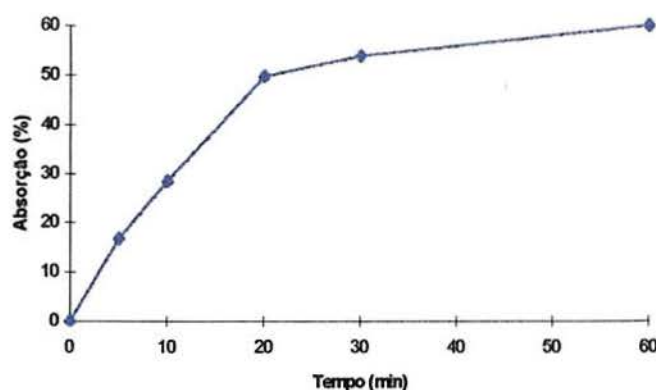


FIGURA 5.9 - Curva de absorção de água do agregado de EVA empregado nos experimentos



FIGURA 5.10 - Detalhe do recipiente usado na pré-molhagem do agregado de EVA com a barreira em forma de peneira utilizada para reter a ascensão do agregado

5.2.1.3 Mistura

A mistura dos traços foi executada utilizando uma betoneira de mistura forçada, de cuba móvel. Os materiais foram adicionados de acordo com a ordem descrita abaixo, por ser a que apresentou melhor homogeneização dos componentes, com o uso deste tipo de betoneira.

- Em primeiro lugar foi colocado o agregado de EVA, com 1/3 da água de amassamento, acionando-se a cuba giratória da betoneira;
- Com a cuba em movimento foi adicionado o cimento;
- Por último adicionou-se a areia e o restante de água.

O tempo de mistura na betoneira foi ajustado para a obtenção de uma massa homogênea através da observação visual da mesma, perfazendo um total de 6 minutos assim divididos:

- Um minuto para o agregado EVA e água;
- Dois minutos para o agregado EVA com cimento;
- Três minutos após a adição da areia.

5.2.1.4 Moldagem

Na moldagem dos corpos de prova, foram utilizados moldes cilíndricos, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Os corpos de prova foram moldados em duas camadas com 15 golpes de um soquete metálico com diâmetro de 1/2", conforme NBR 5738.

Para as misturas com maior teor de EVA, as quais conduzem a concretos mais leves, houve dificuldades na compactação, devido às características elásticas do agregado de EVA, que não permitiam uma compactação permanente.

5.2.1.5 Cura dos Corpos de Prova

Todos os corpos de prova foram curados em câmara úmida com controle de umidade (em torno de 95%) e temperatura (em torno de 25°C) até a data de realização de cada ensaio específico.

5.2.2 Ensaio Realizados

5.2.2.1 Trabalhabilidade

Para medir a trabalhabilidade, foram utilizados dois métodos:

1. O método do abatimento do tronco de cone regido pela NBR 7223- "Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone", o qual consiste em medir o abatimento de uma massa de concreto com formato tronco cônica. É o ensaio mais difundido, no meio científico.
2. Método da consistência pelo espalhamento do tronco de cone (NBR 9606), também conhecido como índice de trabalhabilidade Graf. A mesa possui 70 cm x 70 cm, recoberta por uma chapa metálica de 2 mm de espessura. O concreto é moldado em uma fôrma troncocônica, com 20 cm de altura com a base maior de 20 cm e a base

menor de 13 cm, em duas camadas com 10 golpes moderados de um soquete de madeira (seção 4cm x 4cm). Após a retirada do molde, levanta-se um lado da mesa, por 15 vezes até uma altura de 4 cm, deixando-se cair livremente. O índice Graf é obtido pela média de duas medidas ortogonais paralelas aos lados da mesa. A Fig. 5.11 apresenta o detalhe do ensaio.

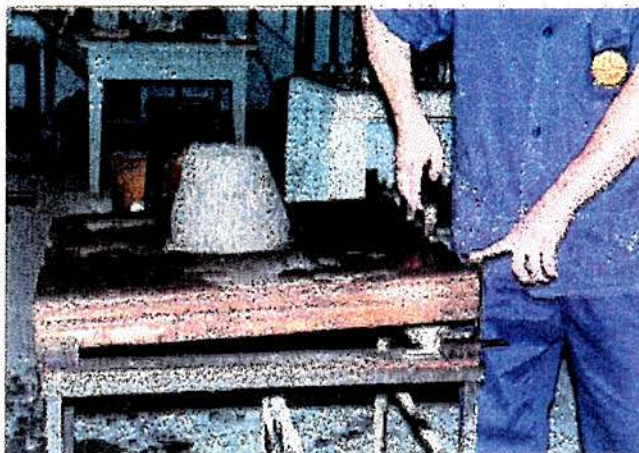


FIGURA 5.11 - Detalhe do ensaio de espalhamento do tronco de cone sobre a mesa de Graf

5.2.2.2 Massa unitária do Concreto

Para medir esta propriedade, foi usado um recipiente cilíndrico com volume conhecido; após preenchimento com concreto, o recipiente foi pesado e a densidade obtida, dividindo-se o peso da massa de concreto pelo volume do cilindro.

5.2.2.3 Resistência à Compressão

Este ensaio baseou-se nas indicações fornecidas pela norma NBR 5739- "Ensaio de Compressão de Corpos de prova Cilíndricos de Concreto", para ensaio de corpos de prova de concreto convencional. Para o rompimento à compressão foi utilizada uma prensa Universal com capacidade de vinte toneladas.

5.2.2.4 Resistência à Tração na Flexão

Este ensaio baseou-se nas indicações da NBR 12142- "Determinação de Resistência à Tração na Flexão em Corpos de prova Prismáticos", para a determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Os corpos de prova prismáticos tem 16 cm de comprimento, 4 cm de largura e 4 cm de altura. Para a realização do ensaio, o corpo de prova é colocado sobre um cutelo com 12 cm de comprimento, sendo aplicada uma carga com um cutelo superior no terço médio do corpo de prova (ver figura 6.11). Para o cálculo da resistência à tração na flexão, deve-se observar onde ocorreu a ruptura do corpo de prova. Podem ocorrer as seguintes situações.

- *Caso o rompimento ocorra no terço médio do corpo de prova:*

$$F_{ctm} = \frac{PL}{bd^2} \quad (\text{eq. 5.1})$$

onde:

- F_{ctm} Resistência a tração em N
- L Distância entre cutelos de suporte (cm)
- b Largura média da seção de ruptura (cm)
- d Altura média da seção de ruptura (cm)

- *Rompimento fora do terço médio a uma distância não superior a 5% de L:*

$$F_{ctm} = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (\text{eq. 5.2})$$

onde:

- F_{ctm} Resistência a tração em N;
- a Distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo, obtido com aproximação de 1mm, mediante a tomada de pelo menos 3 medidas ($a \geq 0,283 L$)

- *Se o corpo de prova romper além de 5% de L ($a < 0,283 L$), o ensaio não tem validade e deve ser repetido.*

5.2.2.5 Determinação da Massa Específica e do Índice de Vazios

Na determinação da Massa Específica e da Porosidade foi tomada como referência a NBR 9778 - “Determinação da Absorção de Água por Imersão, Índice de Vazios e Massa Específica de argamassas e concretos endurecidos”.

Os corpos de prova para este ensaio podem ser obtidos de argamassas moldadas de acordo com a NBR 7215, ou de concretos de acordo com a NBR 5738 “Moldagem e Cura de Corpos de Prova Cilíndricos de Concreto”, ou ainda a partir de testemunhos extraídos ou pedaços de argamassa ou concreto. No caso desta dissertação foi optado por utilizar o corpo de prova moldado conforme descrito no item 5.2.1.4. O ensaio consiste no seguinte:

1. Secar os corpos de prova em estufa, anotando-se como referência o peso seco (M_s) após 72 horas;
2. Deixar o corpo de prova ao ar até resfriar e proceder à saturação em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, durante 72 horas. A amostra deve ser mantida com 1/3 do seu volume imerso nas quatro primeiras horas, 2/3 nas quatro horas subsequentes e deve ser completamente imerso nas 64 horas restantes. Após 72 horas, retirar a amostra da água, enxugar a superfície com toalha absorvente e registrar a massa saturada (M_{sat});
3. Após completar a saturação, proceder à pesagem em balança hidrostática, anotando a massa do corpo de prova imerso em água.

O cálculo dos índices é feito usando as seguintes expressões:

1. Massa Específica aparente do material (M_e):

$$M_e = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} \quad (\text{eq. 5.3})$$

onde:

- M_s Massa do corpo de prova seco em estufa (gramas)
- M_{sat} Massa do corpo de prova saturado (gramas)

2. Porosidade Aparente do material ou Índice de Vazios (I_v):

$$I_v = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} * 100 \quad (\text{eq. 5.4})$$

onde:

- I_v Índice de vazios (%)
- M_i Massa do corpo de prova saturado, imerso em água (gramas)

5.2.2.6 Determinação da Absorção de Água

A absorção é o processo físico pelo qual o concreto retém água nos poros e condutos capilares (Petrucci, 1980). Esta propriedade é função dos poros do concreto, que têm comunicação com o exterior, podendo ser determinada por um ensaio simples de imersão paulatina em água, de modo a permitir a saída do ar retido nos poros.

A NBR 9778/87, utilizada para determinar a massa específica e a porosidade aparente, também é usada para determinação da absorção de água. A absorção de água por imersão é definida pela seguinte expressão:

$$A_b = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} * 100 \quad (\text{eq. 5.5})$$

onde:

- A_b Absorção de água em percentagem (%)
- M_{sat} Massa do corpo de prova saturado (gramas)
- M_s Massa do corpo de prova seco em estufa (gramas)

5.2.2.7 Módulo de Deformação à Compressão (E_c)

O módulo de elasticidade é a relação entre o incremento de tensão e o incremento de deformação. É a medida de rigidez ou da tendência de deformação do material. (Mehta & Monteiro, 1994). O módulo de deformação estático para um material sob compressão é dado pela declividade da curva $\xi - \sigma$ (tensão-deformação) para concreto sob carregamento uniaxial.

Neste trabalho foi calculado o módulo de deformação secante de acordo com a NBR 8522, utilizando-se a equação 5.6. Para medir a deformação dos corpos de prova submetidos ao ensaio de módulo de deformação, foi utilizado um extensômetro mecânico.

$$E_{\text{sec}} = \frac{\sigma_n - \sigma_{\text{inf}}}{\varepsilon_n - \varepsilon_0} \quad (\text{eq. 5.6})$$

onde:

- E_{sec} Módulo de deformação secante correspondente à inclinação unindo os pontos do diagrama tensão deformação relativos às tensões σ_{inf} e σ_n
- σ_n Tensão considerada para o cálculo do módulo secante;
- ξ_n Deformação específica correspondente à tensão σ_n
 $n = 0,1 \dots 0,7$ ou $0,8$;
- ξ_0 deformação específica correspondente à leitura zero.

Para o cálculo do valor do módulo de elasticidade, conforme recomendação da NBR 8522, adotou-se $\sigma_n = 0,4 f_{cj}$.

5.2.2.8 Retração por Secagem

A retração por secagem foi determinada usando como referência a NBR 8490/84 “Argamassas Endurecidas para Alvenaria Estrutural - Retração por Secagem”, a qual determina a retração em corpos de prova prismáticos com 25 cm de comprimento, 2 cm de largura e 2 cm de altura.

Após a desmoldagem, os corpos de prova devem ser colocados em câmara úmida, onde devem permanecer por 24 horas, sendo após, mergulhados em água por 15 minutos e proceder

a primeira leitura. A cura dos corpos de prova é feita em um tanque com água saturada de cal até a idade de 28 dias, quando deve ser feita a segunda leitura.

Após a segunda leitura, os corpos de prova devem ser colocados em uma câmara de secagem, com temperatura entre 21 e 25°C e umidade relativa de $50 \pm 4\%$, onde permanecerão até a realização das leituras à 32, 35, 42 e 56 dias e 12, 20, 36 e 68 semanas.

A expansão ou retração por secagem é calculada de acordo com a equação 5.7:

$$R = \frac{A - B}{250} * 100 \quad \text{Eq. 5.7}$$

onde:

- **R** Retração por secagem (%)
- **A** Leitura efetuada numa idade qualquer (mm)
- **B** Leitura efetuada após desforma (mm)

Devido as dimensões reduzidas do corpo de prova para determinação da retração, houve dificuldades na moldagem dos traços com maior teor de EVA, sendo preciso fracionar o experimento, conforme descrito em 6.9. Métodos alternativos como corpos de prova em formato de circular, onde pode-se medir a variação do diâmetro poderão apresentar melhores resultados.

5.2.2.9 Resistência à tração por compressão diametral

Este ensaio consiste na aplicação de uma carga linear segundo a geratriz de um corpo de prova cilíndrico até a sua ruptura. O cálculo da tensão é feito pela equação 5.8.

$$tcd = \frac{2P}{\pi DL} \quad \text{Eq.: 5.8}$$

onde:

- **P** Carga linear aplicada (N)
- **D** Diâmetro do corpo de prova (cm)
- **L** Comprimento do corpo de prova (cm)

5.3 PROJETO EXPERIMENTAL

Segundo Isaia (1992) “...a pesquisa experimental é a ferramenta do engenheiro: É pela observação formal dos fatos e fenômenos reais que são formulados os fundamentos teóricos que embasam a investigação, realizada sob condições determinadas e controladas dos fatores intervenientes, permitindo aumentar o conhecimento das teorias ou leis existentes, num processo cíclico de aproximações sucessivas.”

No capítulo dois, foi apresentado um panorama geral sobre o estado da arte com relação ao aproveitamento de resíduos industriais na construção. Apesar de não terem sido encontrados registros sobre aproveitamento dos resíduos de EVA na construção civil, acreditamos ser este um destino em potencial para os mesmos, pois a quantidade gerada é bastante elevada e o seu custo como matéria prima é praticamente nulo. Além disso, pode-se aproveitar a baixa massa do EVA, para a obtenção de um novo agregado que poderá ser usado no desenvolvimento de materiais e componentes com propriedades termo-acústicas.

O objetivo desta pesquisa consiste em avaliar as propriedades físicas de um concreto utilizando o resíduo de EVA, visando o seu emprego na construção. Desta forma pode-se apontar uma outra alternativa para o destino destes resíduos, eliminando as montanhas depositadas a céu aberto, como vem ocorrendo atualmente.

As indagações que procura-se esclarecer, através da investigação experimental neste caso, são as seguintes:

1. É possível a confecção de concreto com agregado leve de EVA, através de técnicas simples e de baixo custo?
2. Quais os níveis de resistência que podem ser obtidos utilizando este agregado?
3. Qual o uso mais adequado a este concreto?

Antes de comentar sobre as variáveis do experimento, convém lembrar que as propriedades físicas e mecânicas do concreto com agregados leves são definidas de acordo com o emprego do mesmo. Se o objetivo for isolamento térmico, o concreto deverá ser o mais leve possível e com resistência mecânica suficiente para resistir a pequenas solicitações. O emprego em peças estruturais ou na confecção de elementos de vedação exige do concreto com agregados leves uma mistura homogênea com boa trabalhabilidade e determinados valores mínimos de resistência mecânica.

De acordo com o que foi exposto no capítulo três, cada tipo de agregado leve, devido as suas características inerentes, confere ao concreto do mesmo nome, propriedades físicas e mecânicas específicas de acordo com o agregado utilizado, conduzindo a correlações entre propriedades que não podem ser generalizadas aos demais. A resistência do concreto com agregados leves, bem como as demais propriedades do mesmo, dependem essencialmente da densidade daquele, cuja magnitude é função da quantidade de agregado leve presente na mistura.

Feitas estas considerações, foram escolhidas as seguintes variáveis independentes para a realização dos experimentos:

1. Teor de agregado de EVA:

Foram utilizados os teores de 60%, 70%, 80% e 100% de agregado de EVA, em relação ao volume total de agregado. A escolha destes níveis foi baseada na observação das propriedades da mistura em ensaios exploratórios.

2. Traço:

O traço do concreto tem como objetivo analisar o desempenho do concreto com diferentes consumos de cimento. Foram utilizados os traços 1:3, 1:5 e 1:7 (cimento : agregados). Os traços estão expressos em volume, devido à diferença de massa unitária entre os agregados empregados.

O Quadro 5.3 mostra a grade dos ensaios realizados com os níveis de cada variável escolhida. Nesta etapa, não foram incorporados nenhum tipo de aditivo ou adições às misturas ensaiadas. Esta análise é objeto de estudos complementares apresentados no decorrer do capítulo 6.

QUADRO 5.2 - Grade do experimento desenvolvido nesta pesquisa

MISTURA	TRAÇO	% de EVA
I	1:3	60
II	1:3	70
III	1:3	80
IV	1:3	100
V	1:5	60
VI	1:5	70
VII	1:5	80
VIII	1:5	100
IX	1:7	60
X	1:7	70
XI	1:7	80
XII	1:7	100

Para todos os traços apresentados no Quadro 5.3, foram determinadas as seguintes propriedades:

1. Trabalhabilidade e Consistência
2. Densidade
3. Resistência à compressão axial (f_c)
4. Resistência à tração na flexão (f_{tf})
5. Absorção de água (A_b)
6. Massa específica (M_s)
7. Índice de vazios (I_v)
8. Módulo de elasticidade (E)
9. Retração
10. Resistência à tração por compressão diametral (f_{ta})

Também foram executados alguns ensaios complementares com o intuito de melhorar deficiências de trabalhabilidade e resistência à compressão do concreto de EVA. Também foram feitos ensaios de resistência ao fogo, isolamento térmico e resistência à colonização por fungos com o concreto de EVA.

5.4 RESULTADOS

O quadro 5.4 mostra o desdobramento de cada um dos traços unitários em peso e em volume, juntamente com a relação água/cimento, consumo de cimento e massa unitária do concreto obtido. Para o cálculo do consumo de cimento foi utilizada a equação 5.9, usando-se as propriedades físicas das Tabelas 5.1, 5.3 e 5.8, para o cimento, areia e EVA, respectivamente.

$$C = \frac{1000}{1/\gamma_{\text{cimento}} + 1/\gamma_{\text{areia}} + 1/\gamma_{\text{EVA}} + a/c} \quad (\text{eq. 5.9})$$

A Tabela 5.9 apresenta os resultados encontrados em cada ensaio. Os valores representam a média de três corpos de prova, usando os materiais e métodos elucidados anteriormente, sendo assim resultados específicos para as condições do estudo aqui desenvolvido. O capítulo 6 é dedicado à análise e interpretação dos resultados.

QUADRO 5.3 - Traços unitários em peso em volume com a relação a/c, consumo de cimento e massa unitária do concreto

traço	%EVA	traço unitário (volume)				traço unitário (peso)		Massa unitária (kg/m ³)	a/c	consumo de cimento (kg/m ³)
1:3	60	1	1,2	1,8	1	1,893	0,214	1352	0,47	421
	70	1	0,9	2,1	1	1,420	0,2497	1246	0,39	444
	80	1	0,6	2,4	1	0,947	0,2853	1121	0,33	466
	100	1	0	3	1	0,000	0,3567	667	0,24	508
1:5	60	1	2	3	1	3,156	0,3567	1275	0,63	280
	70	1	1,5	3,5	1	2,367	0,4161	1142	0,52	295
	80	1	1	4	1	1,578	0,4756	957	0,42	311
	100	1	0	5	1	0,000	0,5944	539	0,23	348
1:7	60	1	2,8	4,2	1	4,418	0,4993	1187	0,8	209
	70	1	2,1	4,9	1	3,313	0,5826	1018	0,66	221
	80	1	1,4	5,6	1	2,209	0,6658	618	0,5	234
	100	1	0	7	1	0,000	0,8322	287	0,22	264

TABELA 5.9 - Valores médios encontrados para os ensaios especificados com o concreto leve de EVA, de acordo com o experimento desenvolvido.

	% de EVA	Cons. cim. (kg/m ³)	Massa unitária (kg/m ³)	Abat. (mm)	Graf (cm)	f _c 7 (MPa)	f _c 28 (MPa)	Tração Flexão (MPa)	M _s . (kg/m ³)	A _b . (%)	I _v (%)	E (MPa)	f _{tu} (MPa)	
	I	60	421	1352,1	30	37,0	2,2	3,4	1,18	1401,52	16,49	23,11	2500	0,75
1:3	II	70	444	1245,9	20	32,0	2,0	2,86	2,12	1364,88	16,66	22,73	1480	0,61
	III	80	466	1120,6	0,5	*	1,2	1,8	2,06	1358,78	19,20	26,09	1300	0,59
	IV	100	508	666,5	-	*	0,53	0,7	0,56	742,96	45,30	33,54	60	0,19
	V	60	280	1275,5	10	35,0	1,0	1,92	0,64	1277,9	24,99	31,94	1250	0,33
1:5	VI	70	295	1142,6	0,5	*	0,75	1,60	0,77	1137,25	26,75	30,38	580	0,38
	VII	80	311	957,1	-	*	0,59	1,10	0,44	970,17	32,97	31,94	65	0,24
	VIII	100	348	538,7	-	*	0,35	0,40	0,19	723,6	48,78	35,26	-	0,15
	IX	60	209	1187,3	0,5	29,0	0,41	0,60	**	1249,21	24,05	30,04	500	0,12
1:7	X	70	221	1018,5	-	*	0,33	0,45	**	1068,67	32,80	35,05	220	0,14
	XI	80	234	618,4	-	*	0,13	0,15	**	927,43	36,24	33,58	60	0,10
	XII	100	264	287,5	-	*	0,07	0,10	**	672,54	57,50	38,67	-	0

* Não foi possível a determinação do índice Graf, em virtude da falta de coesão da mistura

** A sensibilidade da prensa utilizada não permitiu registrar valor de carga para estes traços

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 TRABALHABILIDADE E CONSISTÊNCIA

O termo consistência, aplicado ao concreto, traduz propriedades da mistura fresca, relacionadas com a mobilidade e a coesão entre os componentes do concreto. A trabalhabilidade não é apenas uma característica inerente ao próprio concreto como a consistência, mas envolve, também, as condições relativas à natureza da obra e aos métodos de execução adotados. Um concreto pode, portanto, ser trabalhável num caso e não o ser em outro.

Métodos convencionais para medir a trabalhabilidade de concretos normais, como o abatimento do tronco de cone ou “slump test”, não se adequam ao concreto de EVA. A trabalhabilidade das misturas também foi medida pelo ensaio do espalhamento do tronco de cone (NBR 9606), através do qual foi possível determinar alguns índices, conforme mostra a Tabela 5.9.

O principal fator que afeta as condições de trabalhabilidade da mistura é a percentagem de agregado de EVA. As misturas com 60% de EVA evidenciaram os melhores resultados, sendo que o traço 1:3 apresentou uma consistência plástica sem segregação nem flutuação do agregado, conforme mostra a Fig. 6.1. Os traços 1:5 e 1:7 apresentaram uma consistência seca, conforme mostra a Fig. 6.2. A mistura II (1:3 com 70%) também mostrou boas condições de trabalhabilidade, evidenciado na Fig. 6.3.

Para os teores de EVA de 70, 80 e 100% de EVA, a falta de finos impede a obtenção de uma coesão adequada, ocorrendo a desagregação após alguns golpes da mesa de Graf impedindo, assim, a determinação do índice, conforme pode ser visto na Fig. 6.3. Este fato, no entanto, não impede o uso destes teores de agregado em determinadas situações, pois foi constatado bom envolvimento do agregado de EVA pela pasta de cimento, o que garante a união das partículas no estado endurecido.

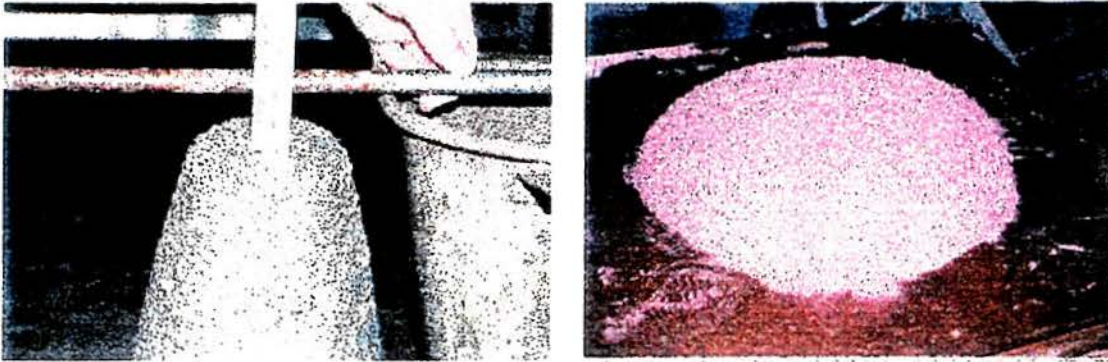
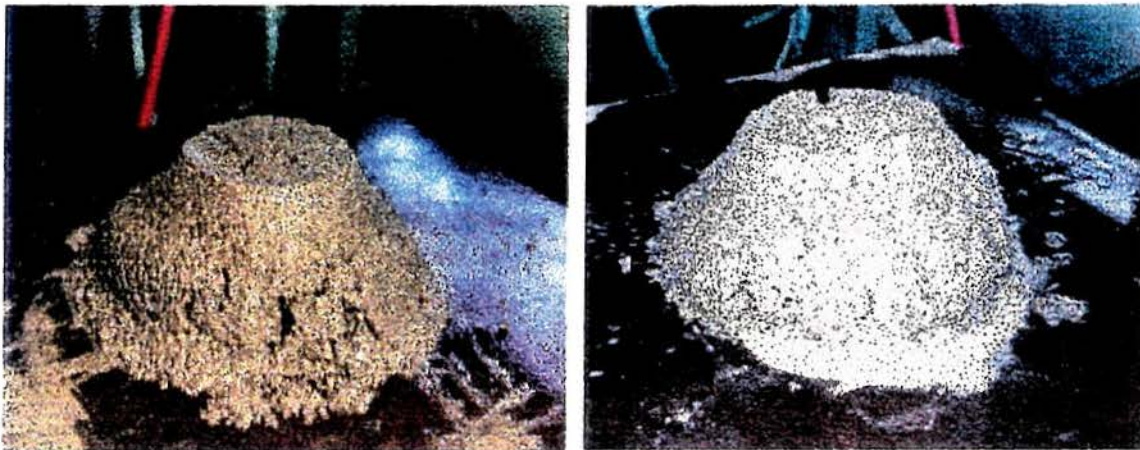


FIGURA 6.1-Medida de trabalhabilidade do traço 1:3 com 60% de EVA usando o ensaio de abatimento e a mesa de Graf.



(a)

(b)

FIGURA 6.2 - Trabalhabilidade Graf traço 1:5 com 60% de EVA (a) e 1:7 com 60% de EVA (b)

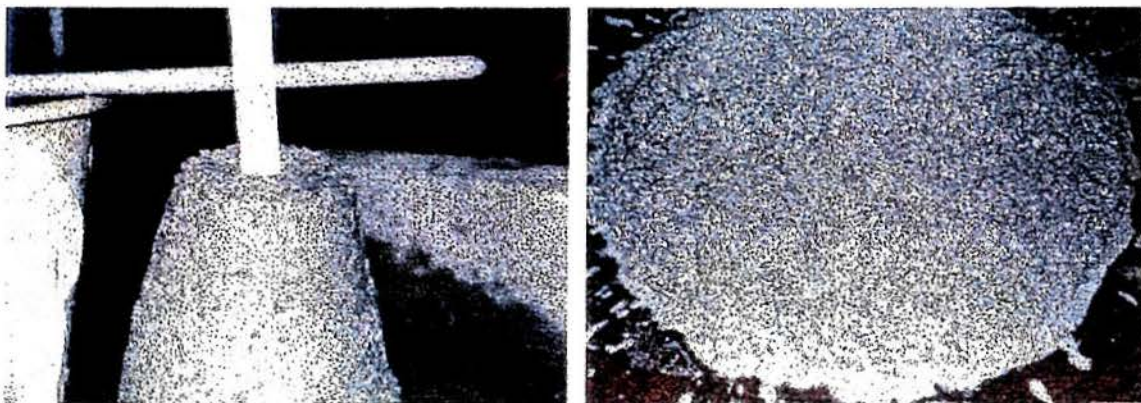


FIGURA 6.3 - Detalhe da medida de trabalhabilidade da mistura II (1:3 com 70% de EVA)

As misturas ricas em cimento garantiram melhor trabalhabilidade de acordo com o índice Graf da Tabela 5.9. No entanto, é recomendável a investigação de adição de pozzolanas, como cinza volante, visando melhorar a trabalhabilidade daquelas misturas que não apresentaram bom resultado, bem como diminuir o consumo de cimento.

6.2 MASSA UNITÁRIA DO CONCRETO

A massa unitária é a propriedade que caracteriza o concreto leve, influenciando diretamente as demais propriedades. No caso de concreto com agregados leves, a massa unitária é função do teor de agregado leve na mistura.

A Fig. 6.4 apresenta a relação entre a massa unitária do concreto, e o teor de agregado de EVA na mistura, em função dos traços empregados. A Fig. 6.5 mostra a relação entre a massa unitária e o traço utilizado, em função da percentagem de EVA na mistura.

A Fig. 6.4 demonstra que a massa unitária do concreto de EVA é inversamente proporcional à quantidade de agregado de EVA na mistura, com uma relação praticamente linear. A mudança na percentagem de agregado de EVA causa variações bastante significativas na massa unitária do concreto. Esta variação ocorre na mesma ordem de grandeza para os traços 1:3 e 1:5, acentuando-se no traço 1:7, devido ao menor consumo de cimento.

A Fig. 6.5 nos apresenta a variação da Massa unitária do concreto em relação aos traços utilizados, de acordo com o teor de EVA na mistura. O gráfico mostra que as variações da massa unitária são mais acentuadas para os teores de 80% e 100% (concretos mais leves); além disso, as diferenças entre a massa unitária das misturas são mais significativas para os traços mais pobres.

A análise de variância ANOVA revelou que o efeito de maior significância na massa unitária do concreto é o teor de EVA presente na mistura. O traço do concreto, bem como a interação entre os dois fatores, também se apresentam como fatores significativos, embora de menor importância, conforme mostra a Tabela C1 do anexo C.

Os resultados desta análise podem ser comprovados pela observação das Fig. 6.4 e 6.5. É possível observar que as alterações no teor de agregado de EVA conduzem a mudanças significativas na massa unitária do concreto, para os três traços estudados. Por outro lado, as alterações no consumo de cimento (traços) somente se mostram mais significativas para os teores de agregado de EVA mais elevados.

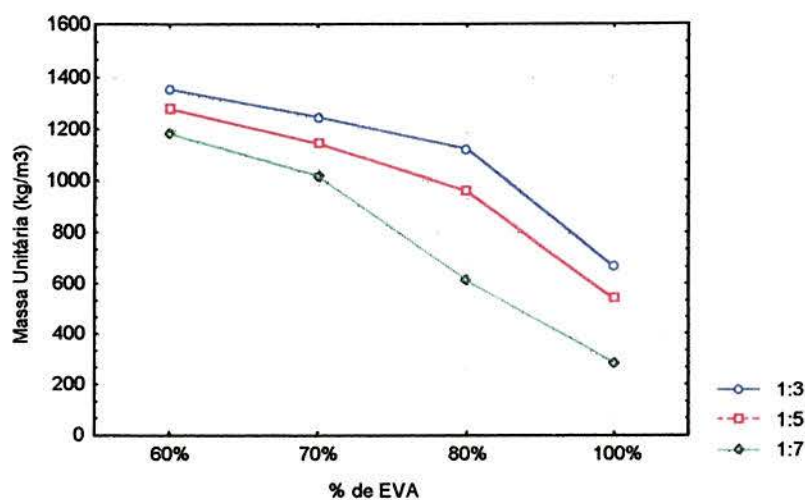


FIGURA 6.4 - Massa unitária do concreto em função do teor de agregado de EVA

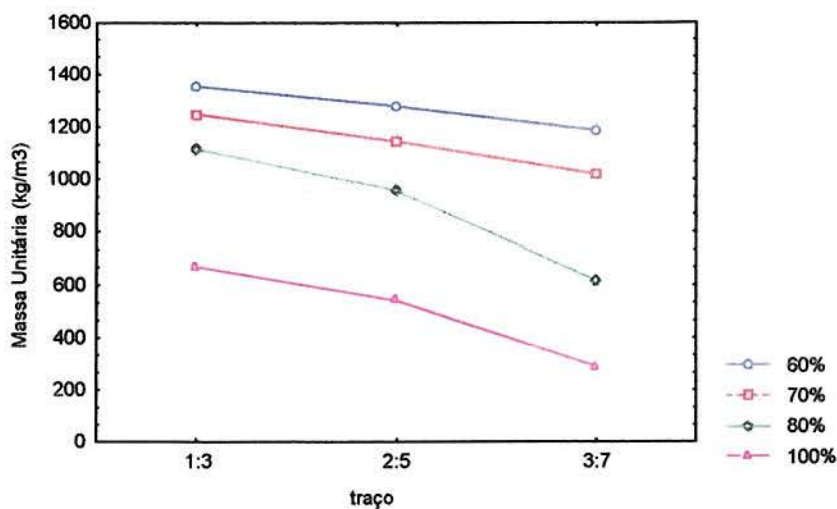


FIGURA 6.5 - Massa unitária do concreto em função do traço do concreto

6.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

A resistência a compressão é outra importante propriedade do concreto com agregados leves. Geralmente vem associada à massa unitária do concreto.

A Fig. 6.6 representa a relação existente entre a resistência e o teor de agregado de EVA, em função dos diferentes traços. A Fig. 6.7 mostra a relação entre a resistência à compressão e o consumo de cimento em função dos teores de EVA adotados neste experimento.

A resistência à compressão e o teor de EVA são grandezas inversamente proporcionais, com uma relação praticamente linear, sendo que a inclinação da reta diminui à medida que o consumo de cimento é reduzido. A influência do agregado de EVA na resistência à compressão é mais pronunciada quando aumenta o consumo de cimento. A Fig. 6.6 também mostra que as alterações da resistência à compressão são menos significativas para teores de EVA mais elevados.

Na Fig. 6.7 pode-se observar que o decréscimo da resistência à compressão acompanha a diminuição do consumo de cimento. Para os níveis escolhidos neste experimento, a mudança de nível no consumo de cimento provoca alterações mais significativas na resistência à compressão, quando comparada à mudança de nível do teor de EVA, comportamento comprovado, também, pela análise de variância da Tabela C2 no anexo C.

A resistência mais elevada foi de 3,4 MPa, obtida na mistura I (1:3 com 60% de EVA), a qual apresentou um consumo de cimento de 421 kg/m^3 , que pode ser considerado alto quando comparado aos do concreto convencional.

Os resultados da resistência à compressão encontrados para o concreto de EVA somente possibilitam o seu emprego em funções não estruturais tais como:

- Isolamento térmico;
- Enchimento em lajes e contrapiso;
- Elementos pré-moldados não portantes (blocos e painéis de fechamento).

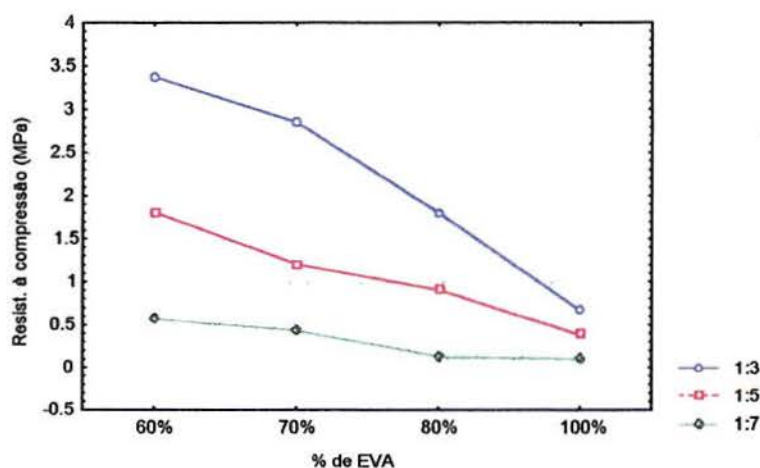


FIGURA 6.6 - Relação entre a resistência à compressão e o teor de EVA, em função do traço adotado

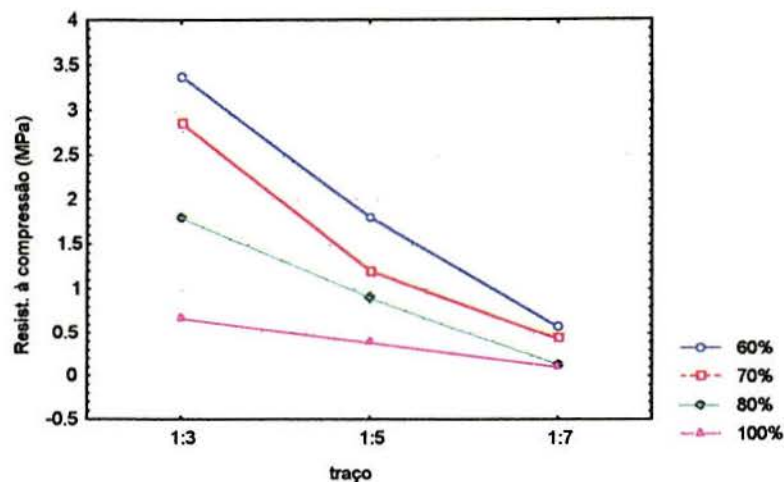


FIGURA 6.7 - Relação entre a resistência à compressão e o traço em função do teor de agregado de EVA na mistura

6.3.1 Desenvolvimento da Resistência à Compressão Axial

A Fig. 6.8 mostra o desenvolvimento da resistência à compressão do concreto leve de EVA, nas idades de 7 e 28 dias, em relação ao teor de EVA na mistura para os três traços estudados.

À medida que aumenta-se a percentagem de agregado de EVA, diminuindo a massa unitária do concreto, e conseqüentemente, a sua resistência mecânica, o incremento de resistência dos 7 para os 28 dias torna-se menor, conforme mostra a Fig. 6.8.

Segundo esta análise e adotando os valores médios, pode-se estabelecer algumas correlações entre a resistência à compressão aos 7 e 28 dias, em função da massa unitária do concreto, representada aqui pelo teor de agregado de EVA. O coeficiente se torna menor à medida que também diminui a massa unitária do concreto.

- 60% $f_{c28} = 1,6 f_{c7}$
- 70% $f_{c28} = 1,5 f_{c7}$
- 80% $f_{c28} = 1,4 f_{c7}$
- 100% $f_{c28} = 1,3 f_{c7}$

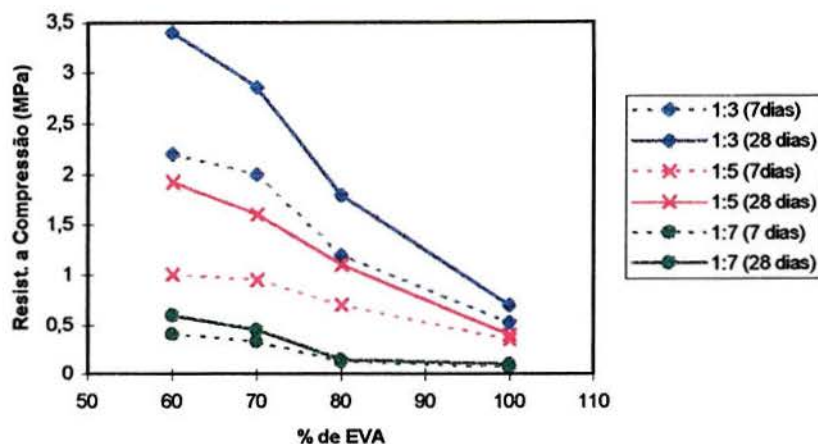


FIGURA 6.8 - Evolução da resistência à compressão dos 7 para os 28 dias em função do teor de EVA para os traços estudados

6.4 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Na Fig. 6.9 tem-se a relação existente entre a Resistência a Tração na Flexão, dos corpos de prova prismáticos, e a percentagem de EVA na mistura, em função do traço do concreto. Já a Fig. 6.10 apresenta a relação entre a Resistência à Tração na Flexão e o consumo de cimento (traço), em função do teor de EVA na mistura.

Os valores máximos encontrados para a resistência à tração na flexão, em cada traço, foram obtidos nas misturas que contêm 70% de EVA em relação ao volume total de agregado. A Fig. 6.9 mostra que para o traço 1:3 os teores de 70% e 80% de EVA apresentaram resistência à tração na flexão maiores que o teor de 60%, *indicando uma contribuição positiva do agregado de EVA*, nesta propriedade. Este comportamento encontra explicação em dois fatores. Devido ao processo de moagem, a superfície do grão de EVA é bastante irregular com cantos angulares, o que confere boa aderência à matriz de cimento. Isto, associado às propriedades elásticas do agregado de EVA, que se distribui no interior da massa de concreto como se fossem fibras, permite que o concreto apresente acentuada deformação sem ocorrer a ruptura.

Para o traço 1:7, a prensa utilizada não apresentou sensibilidade suficiente para determinação do valor da resistência à tração na flexão. A Fig. 6.11 mostra o detalhe da elasticidade destes corpos de prova.

Por outro lado, a Fig. 6.10 mostra que a mudança no consumo de cimento provoca alterações mais significativas na resistência à tração por flexão, se comparadas as variações no teor de agregado. O teste de variância dos valores obtidos (Tabela C3 do anexo C), comprova a maior significância do fator traço do concreto, mas também aponta como efeito significativo o teor de EVA na mistura.

Os valores encontrados para a resistência à Tração na Flexão são menores que àqueles evidenciados para a maioria dos concretos leves, porém bastante similares, de acordo com a massa unitária do concreto, com valores encontrados por Cook (1983), estudando o concreto com poliestireno expandido.

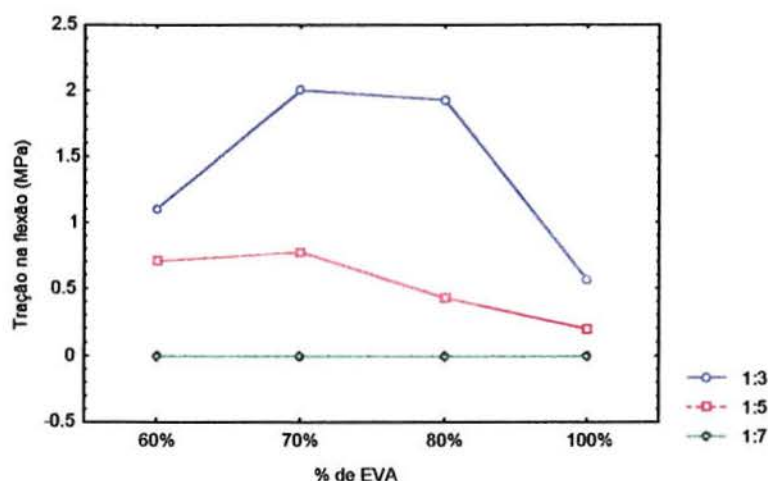


FIGURA 6.9 - Relação entre a resistência à tração na flexão e a porcentagem de EVA, em função do traço do concreto

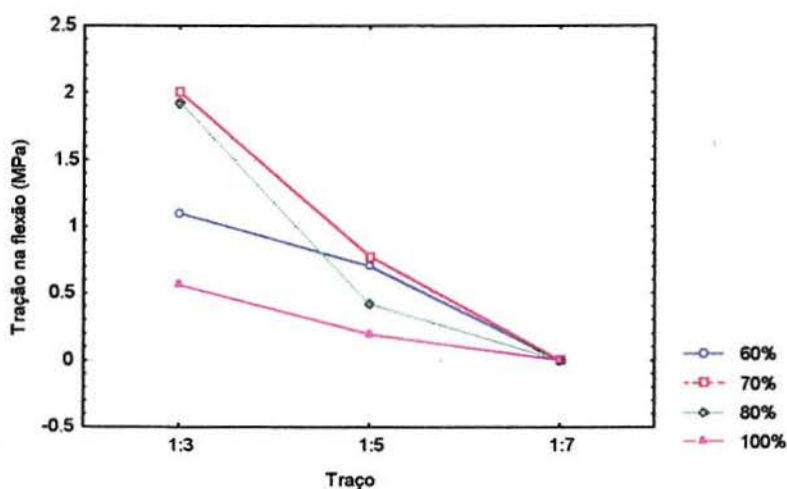


FIGURA 6.10 - Relação entre a resistência à tração na flexão e o traço do concreto, em função do teor de EVA na mistura

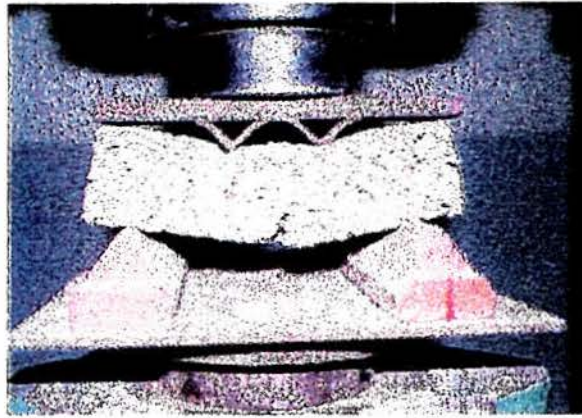


FIGURA 6.11 - Detalhe do ensaio de resistência a tração na flexão

6.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO

Os valores da absorção de água, em relação ao teor de agregado de EVA na mistura, estão apresentados na Fig. 6.12. A Fig. 6.13 apresenta a relação entre os valores de absorção de água e o traço do concreto (consumo de cimento) para diferentes teores de agregado de EVA.

A absorção de água do concreto de EVA ficou entre o intervalo de 16,49%, registrado para a mistura I (1:3 com 60% de agregado de EVA no volume total de agregado), e 57,5% na mistura XII (1:7 com 100% de EVA), conforme resultados da Tabela 5.9.

A Fig. 6.12 mostra que a absorção aumenta consideravelmente com o aumento do teor de agregado de EVA na mistura. O teor de 100% é o que difere significativamente dos demais, apresentando os valores mais elevados para a absorção de água, o que já era esperado por se tratar de um concreto sem finos com agregado poroso.

Na Fig. 6.13 pode-se observar que a absorção de água aumenta para os traços mais pobres, porém esta alteração não é tão significativa quanto à mudança do teor de EVA, fato que é também comprovado pela análise de variância na Tabela C4 do anexo C.

O valor encontrado para determinação das propriedades físicas (absorção de água, porosidade e permeabilidade) de um determinado material depende do método utilizado no ensaio. Assim, a comparação direta com valores de absorção de água, encontrados com outros tipos de concreto com agregados leves, fica de certa forma prejudicada. Entretanto, pode-se dizer que, para as massa unitárias menores, abaixo de 700 kg/m^3 , os valores encontrados para o concreto leve de EVA são mais elevados se comparados, por exemplo, aos do concreto

aerado e do concreto de perlita, assemelhando-se aos do concreto com poliestireno expandido. Massa unitárias mais elevadas também apresentaram valores maiores que os demais concretos com agregados leves.

A elevada absorção de água do concreto com agregados leves de EVA influencia no revestimento necessário para prevenir a corrosão da armadura, na eventualidade de usar este concreto em peças armadas. Trabalhos desenvolvidos por Weigler & Segmuller (1977) apud Cook (1983), sobre concreto com poliestireno expandido, indicam que para massa unitárias acima de 650 kg/m^3 , a proteção da armadura conferida por este concreto é equivalente à do concreto normal. Abaixo deste valor, é sugerido o uso de um revestimento que pode ser o próprio concreto normal, obtendo-se painéis armados do tipo sanduíche compostos de uma camada intermediária de concreto com poliestireno expandido, revestido com pequenas camadas externas de concreto normal.

Pelo fato de ser o concreto de poliestireno expandido o que mais tem semelhanças com o concreto de EVA, acreditamos ser esta uma premissa igualmente válida para o último, o que leva, desde já, a apontar uma possível aplicação em potencial deste material, na confecção de painéis do tipo sanduíche.

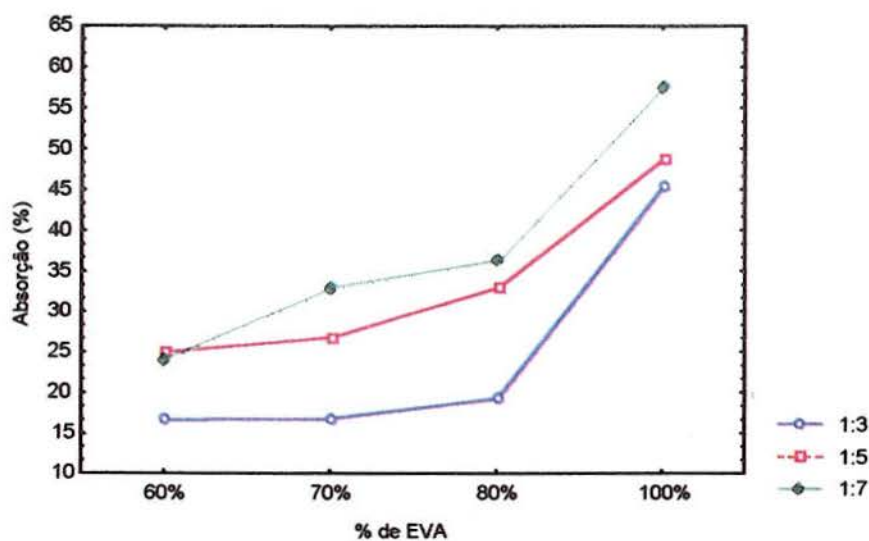


FIGURA 6.12 - Relação entre a absorção de água e a porcentagem de agregado de EVA em função do traço adotado

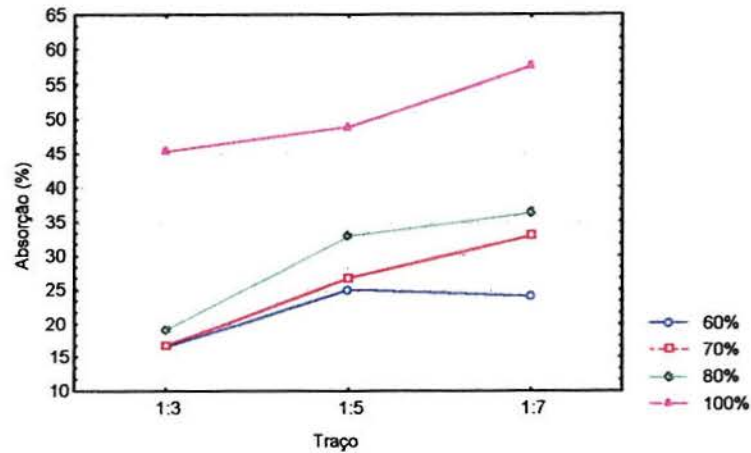


FIGURA 6.13 - Relação entre a absorção de água do concreto e seu traço, em função do teor de agregado de EVA.

6.6 MASSA ESPECÍFICA

A Fig. 6.14 mostra que a Massa Específica é inversamente proporcional à quantidade de agregado de EVA. O valor máximo encontrado foi de 1400 kg/m^3 , enquanto o mínimo foi registrado na mistura XII (1:7 com 100% de EVA) de $672,54 \text{ kg/m}^3$.

A mudança nos teores de EVA alteram significativamente a Massa Específica para todos os níveis dos traços 1:5 e 1:7, enquanto que no traço 1:3 somente a percentagem de 100% se mostra significativamente menor.

A Fig. 6.15 mostra que o traço do concreto também representa efeito significativo, mesmo que menos pronunciado, fato comprovado pela análise de variância dos dados deste ensaio na Tabela C5, do anexo C. As misturas sem finos (100% de EVA) não apresentam diferenças significativas entre os três traços estudados.

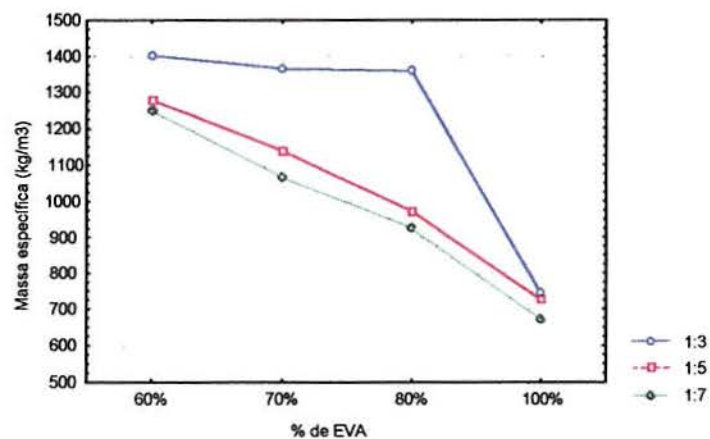


FIGURA 6.14 - Massa específica e percentagem de EVA, de acordo com o traço do concreto

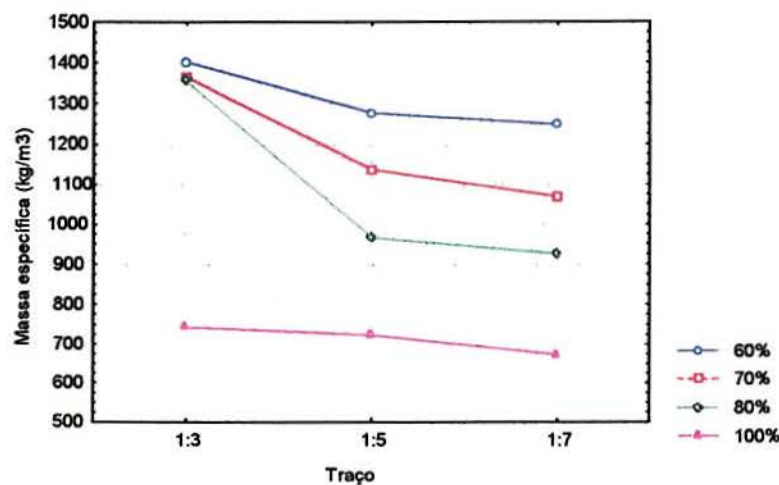


FIGURA 6.15 - Massa específica e traço do concreto em função do teor de EVA

6.7 ÍNDICE DE VAZIOS

Na Tabela 5.9 pode-se observar que o maior valor para o índice de vazios foi de 38,67%, registrado na mistura XII (1:7 com 100% de EVA), enquanto a mistura II (1:3 com 70%) apresentou o menor valor 22,73%.

O índice de vazios mede a porosidade aparente do concreto através da totalidade de vazios presentes na massa. A Fig. 6.16 mostra que, de modo geral, o I_v aumenta com o aumento da percentagem de agregado de EVA presente na mistura. As variações deste índice são mais acentuadas para os teores de agregado EVA mais baixos.

Já a Fig. 6.17 mostra que esta propriedade é inversamente proporcional ao consumo de cimento, representado pelo traço do concreto. De acordo com a análise de variância, Tabela C6 do anexo C, o consumo de cimento é mais significativo na determinação do índice de Vazios do concreto leve de EVA.

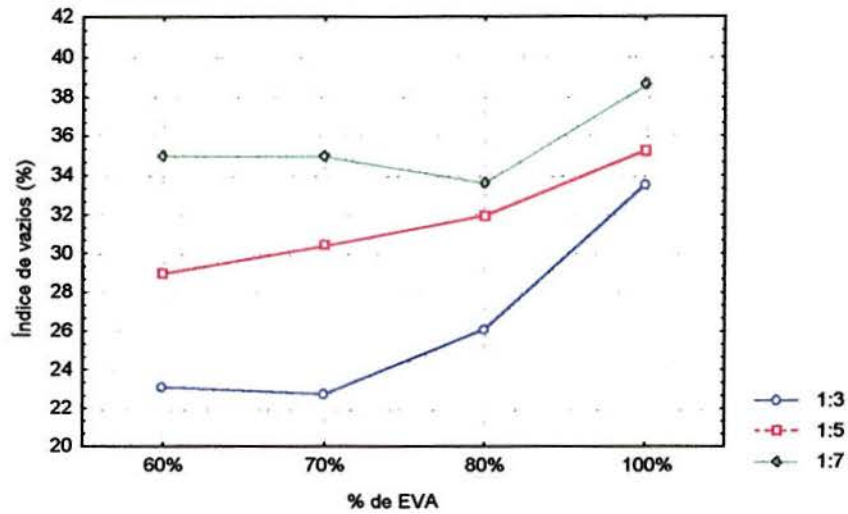


FIGURA 6.16 - Relação entre a porosidade aparente e o teor de agregado de EVA para os diferentes traços do concreto

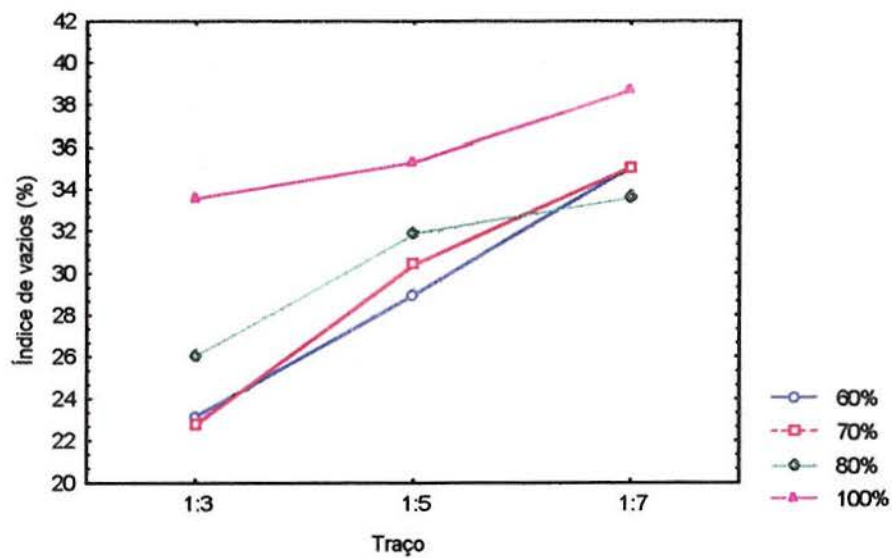


FIGURA 6.17 - Porosidade aparente e traços do concreto, em função do teor de EVA

6.8 MÓDULO DE DEFORMAÇÃO À COMPRESSÃO

A Fig. 6.18 mostra a relação entre o módulo de deformação e a percentagem de EVA, em função do traço do concreto.

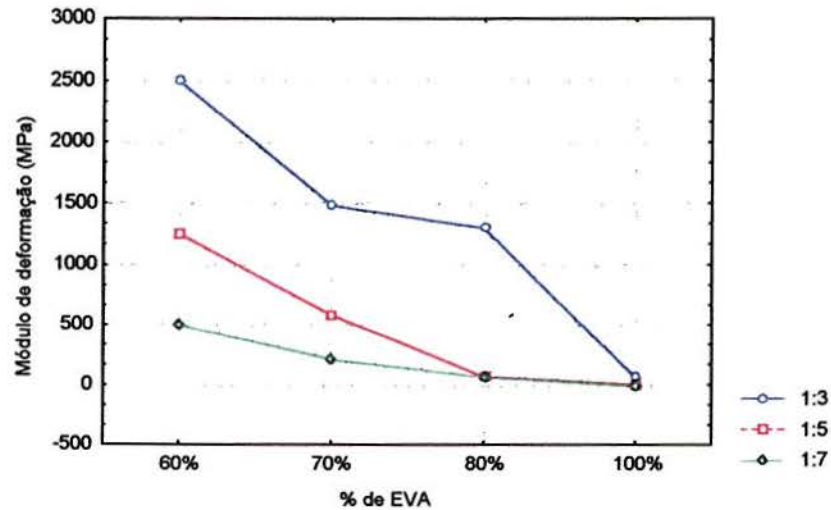


FIGURA 6.18 - Módulo de deformação e teor de EVA na mistura, em função do traço do concreto.

Os maiores valores para o E_c , foram obtidos com a percentagem de 60% de EVA, sendo que o valor mais elevado, em torno de 2500 MPa, corresponde a uma massa unitária do concreto de aproximadamente 1300 kg/m^3 .

Os resultados encontrados evidenciam que, comparado a outros concretos com agregados leves, o concreto de EVA apresenta valores inferiores para massa unitárias similares. Como exemplo: O concreto de poliestireno expandido com massa unitária de massa de 1300 kg/m^3 , pode apresentar o valor de 2900 MPa para o módulo de deformação (Cook, 1983). Outros agregados mais resistentes proporcionam valores da ordem de 10000 a 15000 MPa.

Os baixos valores encontrados para o módulo de deformação indicam a grande ductilidade do material, conferida pelas propriedades elásticas do EVA, capaz de sofrer deformações acentuadas, quando solicitado a cargas. As partículas do agregado de EVA agem como se fossem uma mola elástica, ampliando o número de microfissuras internas, prevenindo assim rupturas bruscas, como as que são usualmente evidenciadas no concreto normal.

Esta deformação é diretamente proporcional ao teor de EVA presente na mistura. Os corpos de prova com teor de 100% de EVA, entretanto, diferem dos demais, pois apresentam deformações plásticas consideráveis mesmo antes da ruptura do corpo de prova. Nestes últimos a deformação total até a ruptura foi de tal ordem que o corpo de prova ficou reduzido praticamente à metade do seu tamanho, conforme mostra a Fig. 6.19.

A figura 6.20, mostra o gráfico tensão deformação para o traço 1:3 com 60% de EVA e 80% de EVA, onde fica perfeitamente caracterizado este comportamento dúctil do concreto de EVA.

O baixo valor do módulo de deformação tem influência desfavorável para o caso de concreto leve estrutural. Por outro lado, segundo Short & Kinniburgh (1978) representa uma influência favorável no que diz respeito à resistência mecânica das peças sujeitas ao impacto, que melhora com valores mais baixos do módulo de deformação.

Os resultados encontrados para a resistência à compressão, limitam o uso do concreto de EVA a funções não portantes. Portanto, uma alternativa é o emprego em situações onde esta propriedade resiliente, aqui evidenciada, possa representar um diferencial técnico de qualidade, como, por exemplo, em contrapiso de lajes em edifícios, para amenizar ou até mesmo eliminar a transmissão do ruído de impacto de cargas pontuais entre um andar e outro.

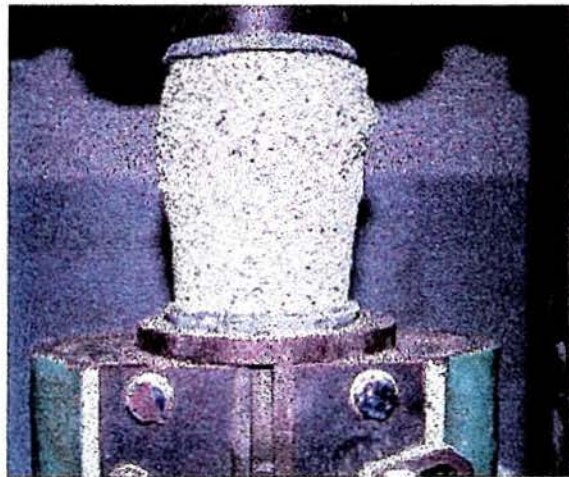


FIGURA 6.19 - Detalhe da deformação de um corpo de prova constituído por cimento e EVA

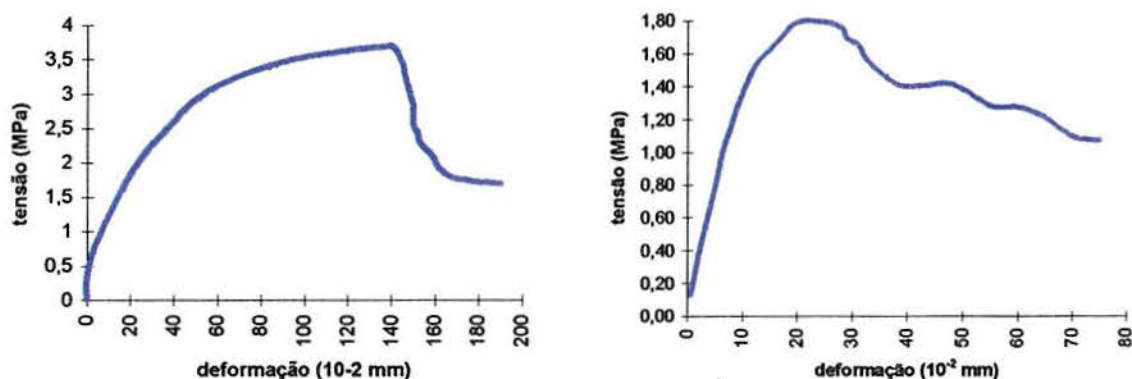


FIGURA 6.20 - Gráfico tensão deformação para o traço 1:3 com 60% de EVA e 80% de EVA, respectivamente.

Para efeitos de ilustração, na Fig. 6.21 é apresentado o comportamento da curva tensão x deformação característica de um concreto convencional, e de um traço do concreto de EVA obtido neste experimento (1:3 com 60% de EVA).

O gráfico em questão evidencia a grande ductilidade do concreto de EVA. Embora com tensões baixas, se comparada as do concreto convencional, ocorre uma deformação acentuada até a ruptura, após a qual, os corpos de prova ainda apresentam alguma resistência residual, sem ruptura brusca.

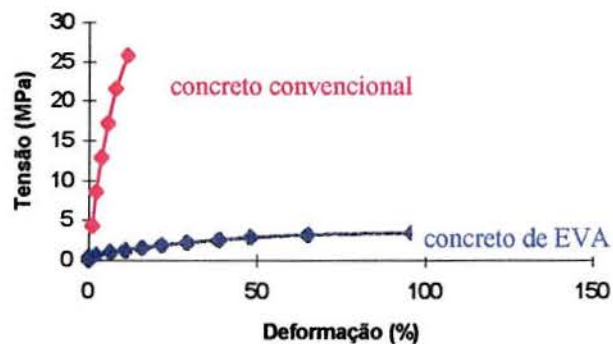


FIGURA 6.21 - Comportamento da curva tensão x deformação de um concreto convencional e do concreto de EVA

6.9 RETRAÇÃO POR SECAGEM DO CONCRETO DE EVA

A retração e a expansão de um concreto têm como causas as mudanças de volume da pasta de cimento, devidas às variações do teor de água. Os agregados, de um modo geral, não influem diretamente nessas deformações, mas devido à sua rigidez, agem opondo-se a elas. Como os agregados leves possuem um módulo de deformação pequeno, oferecem menor resistência à contração e à expansão do que aqueles dos agregados comuns; conseqüentemente, os concretos leves são mais deformáveis e portanto apresentam maior retração.

Os agregados leves de poros abertos exigem uma quantidade exagerada de pasta de cimento para que se possa trabalhar convenientemente com o concreto. Esses concretos leves apresentam retrações consideravelmente maiores do que as observadas nos concretos convencionais.

Neste ensaio optou-se por fracionar o experimento da seguinte forma, devido as dificuldades de moldagem dos corpos de prova: foi determinada a retração por secagem das misturas I, V e IX, representando o efeito do consumo de cimento e também, das misturas V, VI, VII, VIII para avaliar o efeito do teor de EVA. Os resultados dos ensaios são apresentados na Tabela 6.1.

TABELA 6.1 - Valores do Ensaio de Retração por Secagem

Mistura	Traço	% EVA	Massa unitária (kg/m³)	Retração (%)
I	1:3	60	1350	0,063
V	1:5	60	1275	0,051
IX	1:7	60	1180	0,039
V	1:5	60	1275	0,051
VI	1:5	70	1140	0,063
VII	1:5	80	950	0,076
VIII	1:5	100	535	0,123

A Fig. 6.22 mostra o comportamento da retração ao longo do tempo. Pode-se perceber que a retração aumenta com o aumento do teor de agregado de EVA na mistura, sendo significativamente maior para a mistura com 100%. Já na Fig. 6.23 pode-se comprovar que para um mesmo teor de EVA, o traço com maior consumo de cimento apresentou maior retração.

Os valores de retração encontrados para o concreto leve de EVA variaram entre 0,039 e 0,123%, os quais são superiores aos dos concretos convencionais, cujo valor, segundo Tezuka (1973), é da ordem de 0,03%.

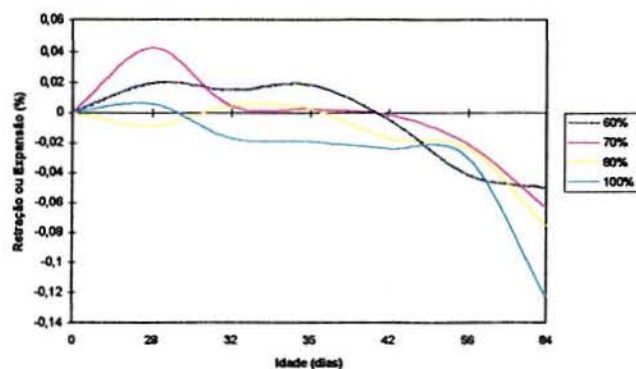


FIGURA 6.22 - Retração por secagem do concreto de EVA, em função do teor de agregado

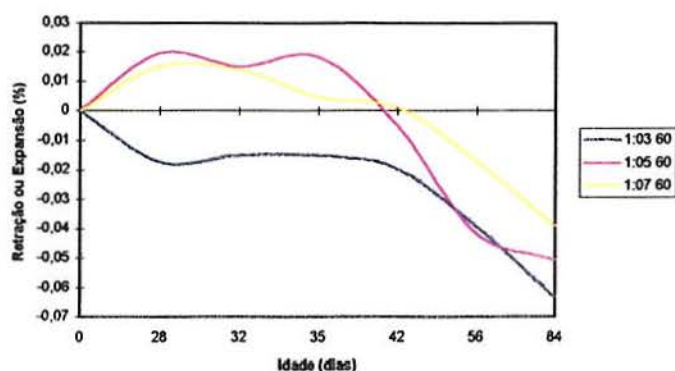


FIGURA 6.23 - Retração por secagem em função do consumo de cimento

6.10 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Na Fig. 6.24 é apresentada a relação entre a resistência a tração por compressão diametral e o consumo de cimento em função do teor de EVA e a Fig. 6.25 mostra a relação desta propriedade com o teor de EVA de acordo com os traços.

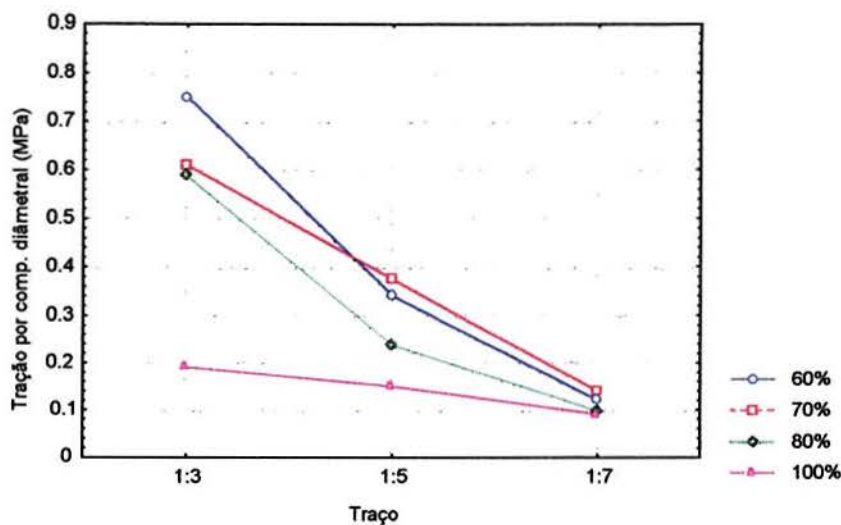


FIGURA 6.24 - Resistência à tração por compressão diametral e o consumo de cimento

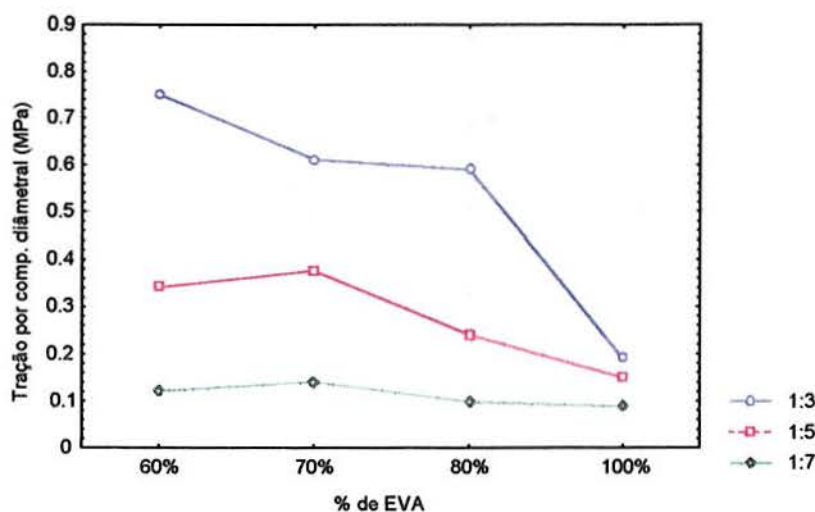


FIGURA 6.25 - Resistência à tração por compressão diametral e o teor de EVA

A resistência à tração por compressão diametral é inversamente proporcional ao consumo de cimento e ao teor de agregado de EVA na mistura, sendo que o efeito do consumo de cimento é mais significativo, conforme mostra a Tabela C8 do anexo C.

Em virtude das características elásticas do agregado de EVA, os corpos de prova ensaiados não se separam em duas metades, como ocorre com o concreto convencional. Durante o ensaio os corpos de prova absorvem energia, apresentando deformação acentuada, apresentam ruptura dúctil sem desagregação das partes. A Fig. 6.26 mostra o detalhe dos corpos de prova após o ensaio.

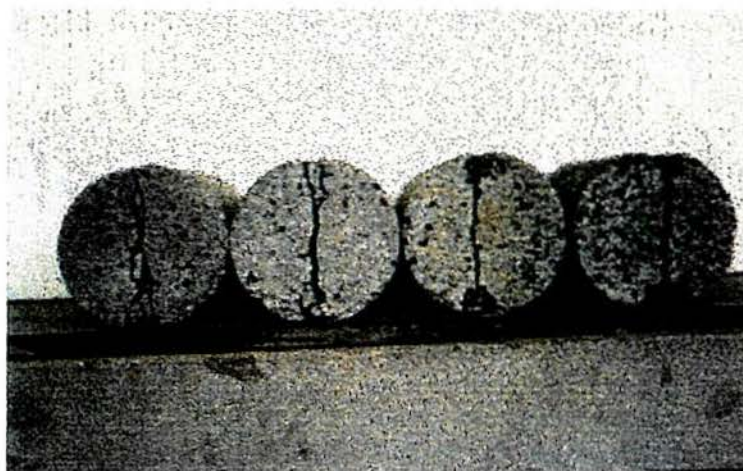


FIGURA 6.26 - Detalhe dos corpos de prova após utilizados no ensaio de resistência a tração por compressão diametral

6.11 ENSAIOS COMPLEMENTARES

O concreto de EVA apresentou, como principais limitações ao seu emprego, a pouca trabalhabilidade da mistura e a baixa resistência à compressão, evidenciando a necessidade de maiores estudos para adequar o seu uso a uma faixa maior de aplicações na construção civil.

Como uma pequena contribuição neste aspecto, foram executados alguns ensaios complementares, utilizando adição de cinza volante e aditivo incorporador de ar para melhorar as condições de trabalhabilidade do concreto, além do agregado de EVA consorciado com pedra basáltica britada, para verificar se ocorre aumento considerável na resistência à compressão.

A quantidade de cinza adequada foi definida pela determinação da trabalhabilidade da mistura, através de incrementos sucessivos de 10% em relação ao volume de cimento. A quantidade de aditivo foi a recomendada pelo fabricante e a pedra britada foi utilizada nas proporções da Tabela 6.2.

As condições de trabalhabilidade de cada mistura foram determinadas pelo espalhamento do tronco de cone e do abatimento do tronco de cone (slump), com registro fotográfico.

A cinza foi adicionada aos traços 1:3 e 1:5 com 60 % de EVA, que representam uma mistura mais homogênea. O aditivo incorporador de ar foi utilizado no traço 1:5 com 70% de EVA e para a mistura de EVA e pedra britada foi utilizado o traço 1:5 com 60% de agregado de EVA. A Tabela 6.2 mostra os resultados encontrados na adição da cinza e do incorporador de ar e a Tabela 6.3, os resultados da combinação de agregado de EVA com pedra britada nº1.

TABELA 6.2 - Resultados da investigação complementar visando melhorar as condições de trabalhabilidade do concreto de EVA.

traço (volume)	EVA (%)	cinza (%)	aditivo (%)	Graf (cm)	abatimento (cm)	fc 28 (MPa)
1:3	60	20	-	45	7,5	4,3
1:5	60	20	-	39	3,0	2,6
1:5	70	-	1,3	38	2,5	1,4

A cinza volante conferiu melhor plasticidade e coesão ao concreto, melhorando consideravelmente as condições de trabalhabilidade, tornando possível a determinação desta pelo teste de abatimento, além da mesa de Graf, conforme comprovam os valores da Tabela 6.2. Os valores da trabalhabilidade Graf anteriores eram 37 para o traço 1:3 e 35 para o traço 1:5 (ver Tab. 5.8). Nas Fig. 6.27 a 6.29 são apresentados os detalhes da trabalhabilidade de cada mistura.

As bolhas de ar formadas pelo aditivo também melhoraram significativamente a trabalhabilidade do concreto. A mistura apresentou uma consistência pastosa que garantiu o fácil adensamento sem desagregação do material, conforme mostra a Fig. 6.29.

Foi registrado aumento da resistência à compressão, comparando-se os valores da Tabela 6.2 com aqueles da Tabela 5.9.

TABELA 6.3 - Resultados da investigação complementar visando melhorar a resistência à compressão do concreto de EVA.

traço (volume)	volume de agregado (%)	EVA (%)	brita (%)	a/c	Graf (cm)	abatimento (cm)	fc 28 (MPa)
1:5	60 (1:2:3)	50	50	0,6	38	2,0	3,5
1:5	60 (1:2:3)	75	25	0,6	43	2,0	2,7
1:5	60 (1:2:3)	0	100	0,6	-	5,0	18,8
1:5	60 (1:2:3)	60	0	0,6	35	-	1,92

O aumento da resistência à compressão é limitado pelo teor de agregado de EVA na mistura. Na Tabela 6.3 pode-se observar que o consórcio de pedra britada (50%) com agregado de EVA (50%) representou significativo aumento na resistência à compressão comparando-se com os resultados encontrados somente com o agregado de EVA.

Certamente com um consumo de cimento mais elevado, o concreto de EVA e pedra britada atingirá níveis de resistência que permitirão o seu emprego na confecção de elementos portantes para fechamento de vãos como blocos e painéis.

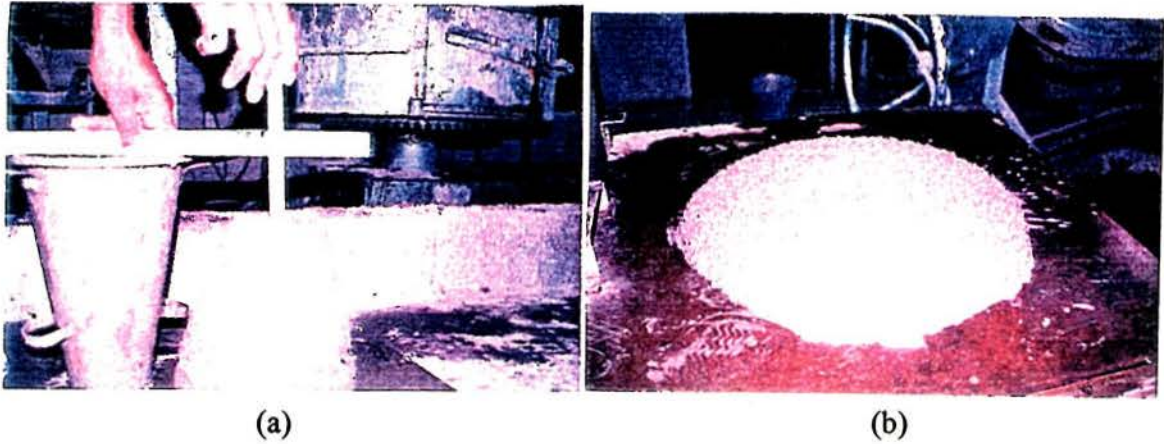


FIGURA 6.27 - Trabalhabilidade do traço 1:3 com 60% de EVA e 20% de cinza volante

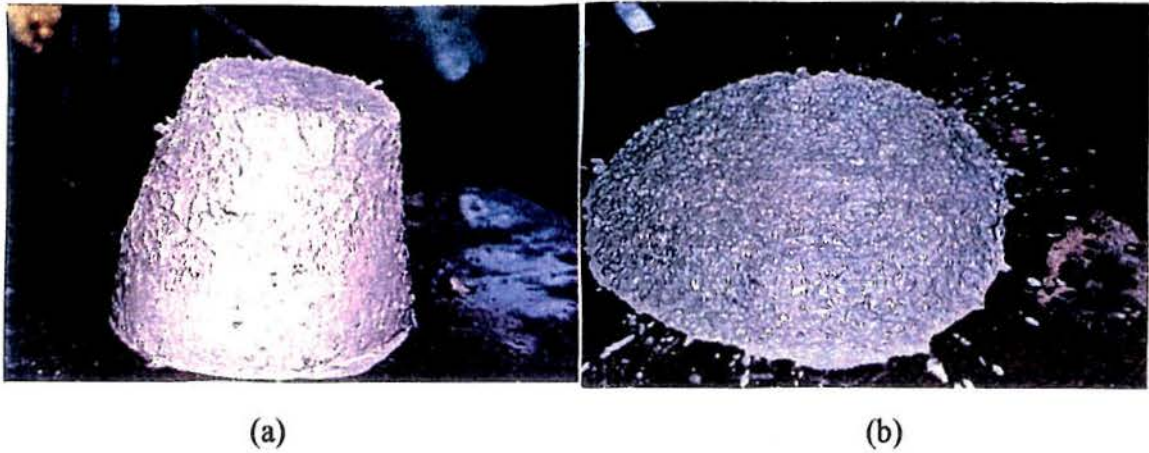


FIGURA 6.28 - Trabalhabilidade do traço 1:5 com 60% de EVA e 20% de cinza volante



FIGURA 6.29 - Trabalhabilidade do traço 1:5 com 70% de EVA e aditivo incorporador de ar

6.11.1 Produção de Blocos Vazados para Alvenaria com o Agregado de EVA

Embora os resultados encontrados na parte experimental, não apontem a fabricação de blocos como uma aplicação comercialmente viável, para o uso dos resíduos de EVA na construção, devido aos baixos valores da resistência à compressão e ao elevado consumo de cimento, foram confeccionados alguns blocos, para que fosse possível a realização dos ensaios de resistência ao fogo e isolamento acústico.

Esta seção descreve uma investigação usando o traço 1:3:2 (cimento : areia : agregado EVA), tradicionalmente usado na produção de blocos de concreto convencional para a vedação de vãos na construção civil. É preciso ressaltar, entretanto, que com as modernas técnicas de produção de blocos é possível atingir os níveis estabelecidos pela NBR 7173, mesmo com traços de até 1:12. A NBR 7173/82 especifica que estes elementos devem atender às exigências do Quadro 6.1.

QUADRO 6.1 - Valores admissíveis para Resistência à compressão e Absorção de água de blocos para alvenaria

Resistência à compressão (MPa)		Absorção de água (%)	
individual	média	individual	média
2,5	2,0	15	10

Fonte: NBR 7173, 1982

Para a moldagem dos blocos, foi utilizada uma máquina manual da marca Menegotti com capacidade de produção de 03 blocos por vez, com largura de 14 cm, altura de 19 cm e comprimento de 39 cm.

Logo após a desmoldagem, os blocos de EVA são bastante frágeis, sendo necessários maiores cuidados no transporte dos mesmos para que não ocorra o seu desagregamento. Durante os primeiros sete dias, os blocos permaneceram sob um galpão, sendo umedecidos constantemente; após isto foram transportados para o laboratório onde ficaram até a data do ensaio. Os valores médios encontrados para a resistência à compressão e absorção de água foram:

- Resistência à compressão: 0,81 MPa
- Absorção de água: 12,4%

Os blocos não atingiram os níveis exigidos pela NBR 7173, o que num primeiro momento inviabiliza o seu emprego, como vedação de vãos em estruturas de concreto.

Os blocos apresentaram, como característica positiva, bom acabamento das superfícies, uniformidade nas medidas, peso reduzido e resistência ao impacto.

6.11.2 Ensaio Expedito de Resistência ao Fogo

Embora não faça parte do escopo desta Dissertação, foi realizado um ensaio expedito do comportamento do concreto de EVA quando exposto a altas temperaturas, uma vez que não foram encontrados dados a respeito na literatura consultada. Este ensaio foi feito em dois blocos de EVA com traço 1:5, sendo o primeiro com 50% de EVA e o segundo com 70%.

O ensaio foi realizado com o auxílio de um maçarico para solda oxiacetilenica (Fig. 6.30) com pressão de saída de $1,5 \text{ kgf/m}^2$, cuja temperatura da chama atinge 700°C . Os dois blocos foram submetidos à ação do fogo durante dez minutos.

Os blocos apresentaram uma mancha escura, sendo que esta foi mais acentuada no bloco II (maior teor de EVA). No entanto, não houve colapso do elemento nem propagação da chama. A ação intensa do fogo, num mesmo local, fez com que os grãos do agregado de EVA fossem sublimados pelo fogo, formando vesículas na superfície do bloco. A Fig. 6.31 mostra o detalhe dos blocos após o ensaio.

6.11.3 Isolamento Acústico de uma parede de blocos de EVA

O isolamento acústico está associado a massa do material, portanto todos os tipos de concreto leve não tem bom desempenho neste aspecto. Para avaliar as propriedades acústicas deste material, foi realizado, no Laboratório de Termo Acústica da Universidade Federal de Santa Maria, um ensaio em uma parede composta por blocos de EVA (Fig. 6.32) com as seguintes características.

- Dimensões dos blocos:
 - largura 14 cm
 - altura 19 cm
 - comprimento 39 cm

- Argamassa de assentamento dos blocos 1:2:8 (cimento : cal : areia)
- Revestimento de 2 cm em uma face e 1 cm na outra com argamassa 1:1:6 (cimento : cal : areia)
- Espessura da parede sem revestimento: 14 cm
- Espessura final da parede: 17 cm
- Massa da parede sem revestimento: 84,00 kg/m²
- Massa da parede com revestimento: 132,00 kg/m²

Os resultados obtidos no ensaio foram:

- Parede sem revestimento 15,0 dB(A)
- Parede com revestimento 41,5 dB(A)

A parede sem revestimento não tem bom isolamento, devido à alta porosidade do bloco, o que é um caminho aberto para a passagem do som. Já a parede com revestimento apresentou bom desempenho, podendo ser comparada com paredes de alvenaria de blocos cerâmicos e de concreto.

Este aspecto abre perspectivas para a utilização dos blocos de concreto de EVA em situações em que se deseje o mesmo desempenho de uma parede convencional, porém se tenha restrições com a carga da parede tradicional assente diretamente sobre a laje.

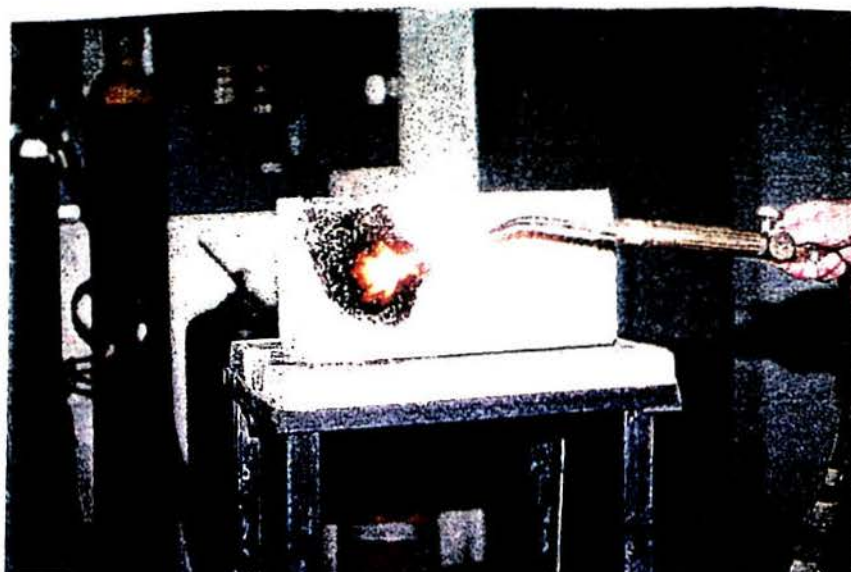


FIGURA 6.30 - Detalhe do ensaio expedito de resistência ao fogo

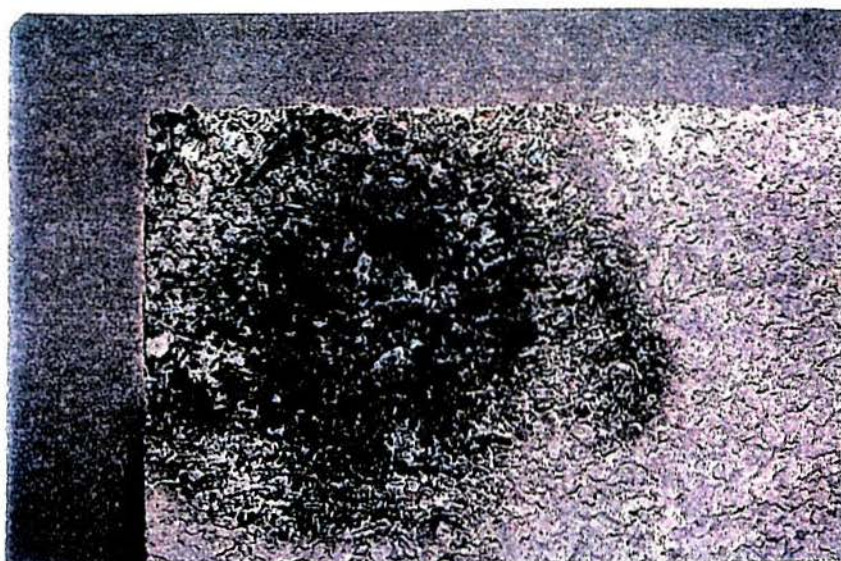


FIGURA 6.31 - Detalhe da superfície do bloco após o ensaio



FIGURA 6.32 - Paredes executada com blocos de EVA

6.11.4 Avaliação da Resistência do Agregado de EVA à Colonização por Fungos

Os critérios de avaliação de um resíduo com potencial de uso na construção civil, propostos por Cincotto (1989) com base nos estudos da OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) e da RILEM (Réunion International des Laboratoires d'Essais et Matériaux), indicam: “O material não deve ser potencialmente nocivo durante a construção ou posteriormente à sua incorporação na estrutura”. Como uma contribuição neste aspecto, o concreto de EVA foi submetido a um ensaio acelerado, para testar a sua resistência à colonização de fungos, causadores de diversas patologias nas construções.

Os ensaios foram desenvolvidos junto às instalações do MIRCEN (Microbiological Resources Center), da faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Teve como objetivo avaliar a suscetibilidade do agregado de EVA, quanto ao desenvolvimento de fungos presentes no ar, quando incorporado em uma determinada estrutura. Esta informação permite avaliar a necessidade ou não do uso de fungicidas no preparo do EVA, bem como eventuais danos visuais ou estruturais de componentes confeccionados com este material.

A biodeterioração pode ser provocada por mudanças físicas ou químicas, oriundas da atividade biológica de macro e microrganismos que colonizam superfícies (Allsopp & Seal, 1986; Griffin, 1991). Quando os organismos encontrados na natureza utilizam nutrientes do meio e promovem o início da colonização em uma dada estrutura, ocorre uma das principais conseqüências do processo que é o comprometimento do aspecto visual, traduzido muitas vezes pelo aparecimento de manchas, e a longo prazo, pela danificação daquela estrutura. Normalmente, as condições climáticas (umidade e temperatura) podem determinar o grau de desenvolvimento de organismos, o que, em parte, justifica o especial destaque que a biodeterioração tem recebido em regiões tropicais.

A suscetibilidade do material depende dos organismos presentes (inoculação), do ambiente próximo da superfície (microambiente) e do próprio material, através do grau de resistência, conforme mostrado na Fig. 6.33. Com relação a materiais de construção, e em particular do concreto, o elevado pH do mesmo (aproximadamente 12,5) confere, a princípio, boa resistência ao ataque fúngico; no entanto, quando exposto à ação das intempéries, ocorre redução do pH, tornando-o suscetível a este tipo de deterioração.

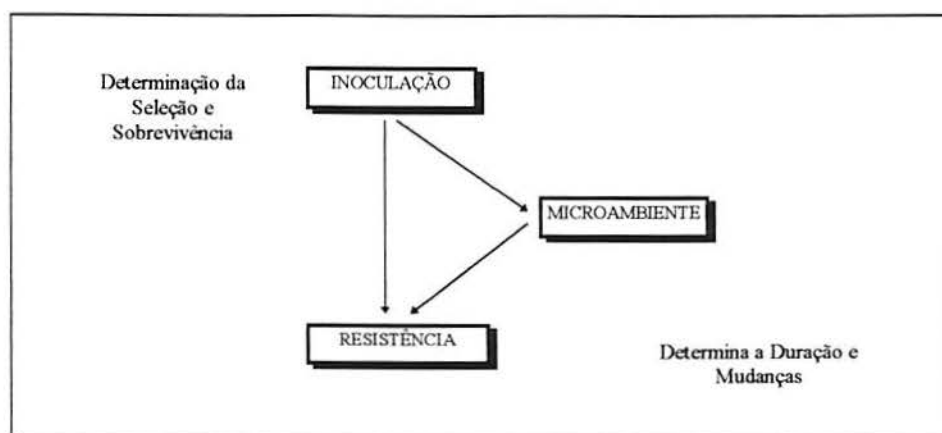


FIGURA 6.33. Seqüência de colonização por microrganismos e fatores envolvidos
 Fonte: Springle, 1995

As conseqüências da colonização das superfícies de prédios e materiais de construção são mostradas no Quadro 6.2. Quando se trata de uma superfície localizada no interior de prédios, a biodeterioração, no caso da colonização fúngica, pode comprometer a saúde, devido ao caráter alergênico de esporos (estrutura reprodutiva e de resistência de fungos) apresentado por algumas espécies (Hunter et al, 1988).

Na avaliação da resistência de superfícies são empregados basicamente dois testes:

- intemperismo natural
- Intemperismo artificial.

Para a avaliação microbiológica são empregados igualmente estes procedimentos de exposição quando se deseja avaliar a questão do desempenho e a efetividade de biocidas incorporados ao produto de revestimento (Diez & Barros, 1992).

No intemperismo natural a exposição no ambiente é feita após a inoculação de culturas puras e/ou mistas, enquanto que no intemperismo artificial, procede-se a inoculação desejada, buscando condições agressivas de alta umidade e temperatura adequada, em uma câmara. Segundo Bock,(1993), experimentos de simulação com aceleração artificial de condições favoráveis a deterioração tentam elucidar o complexo de interações existentes no ataque biológico.

QUADRO 6.2 - Principais conseqüências da biodeterioração em superfícies

ORGANISMOS	PRODUTOS METABÓLICOS	CONSEQÜÊNCIAS NA SUPERFÍCIE
Bactérias	ácidos inorgânicos: H_2SO_4 , HN_3 (bactérias oxidantes do S e do ciclo do N_2)	abaixamento de pH, formação de ácidos, dissolução de cátions, coloração de superfície
Fungos	ácidos orgânicos (oxálico, láctico, glucônico) e inorgânicos	ação mecânica (penetração das hifas, fragilização mecânica, coloração de superfícies.)
Algas	ácidos orgânicos e agentes quelantes	ação mecânica e química, aumento da retenção de água, dissolução mineral(carbonatos)
Líquens (associação de fungos/algas ou bactérias verdes-azuladas)	ácido oxálico, ácido carbônico, agentes quelantes	degradação mecânica e química, aumento de porosidade no substrato (crescimento de hifas, retenção de diferentes graus de umidade, perda de aderência entre os fragmentos minerais)

Fonte: Adaptada de Griffin et al. ,1991

Neste sentido, foram conduzidos ensaios acelerados, com o objetivo de avaliar o comportamento de duas diferentes formulações de um concreto com agregado de EVA, frente a contaminação fúngica.

- A amostra 1 constitui-se de um traço homogêneo de um concreto com cimento, areia e EVA.
- A amostra 2 é formada somente por cimento e agregado graúdo de EVA, representando um concreto sem finos

6.11.4.1 Materiais e Métodos

Os fungos utilizados neste ensaio foram os pertencentes às espécies *Aspergillus fumigatus* e *Aspergillus niger*, pelo fato de serem organismos comuns do ar e do solo. Foram preparadas suspensões fúngicas, mediante a adição de 50 ml de uma solução aquosa de Tween

80 à 0,01%, em tubos com ágar malte⁷ inclinado, para cada fungo, correspondendo ao período de crescimento de 5 dias. Foram utilizados dois métodos para avaliar a resistência do EVA à colonização por fungos:

1. Método da câmara tropical
2. Método da placa de Petri

1. Método da Câmara Tropical

Como metodologia padrão, procedeu-se a realização do ensaio, conforme norma ASTM D-3273-86 ou Método da Câmara Tropical. Trata-se de uma câmara ambiental, cujas tampa e paredes são de vidro, contendo no seu interior solo e água, onde são simuladas as condições de intempéries as quais uma superfície pode ser submetida. A aplicação deste método avalia a resistência de um revestimento em uma dada superfície, quanto ao ataque de fungos (Diez & Barros, 1992). Neste caso, entretanto, foi feita uma adaptação do método, pois não se utilizou revestimento nas placas. A Fig. 6.34 ilustra o esquema da Câmara Tropical adaptada, montada para os ensaios acelerados.

As condições exigidas pelo ensaio são umidade relativa de 95-98%, a qual foi medida com o higrômetro calibrado marca Saiger e temperatura de 32,5 °C. Após 24h nestas condições o solo foi inoculado com os fungos, *Aspergillus niger* e *Aspergillus fumigatus*, permanecendo assim por 2 semanas antes da colocação dos corpos de prova na câmara tropical.

Após secagem por 48 h à 80°C, os corpos de prova foram colocados na câmara de ensaio amarrados por cordões em suportes de vidro na parte superior da câmara, sendo incubados em câmara climatizada durante 90 dias.

2. Método da placa de Petri

A placa de Petri consiste em uma placa de vidro com tampa, onde são depositados os corpos de prova do ensaio, contendo neste caso, meio mineral BH (Bushnell-Haas, 1941) e ágar como agente solidificante. Realizou-se a inoculação com 1ml de suspensão fúngica sobre

⁷ Agar Malte é o nome dado ao meio de cultura usado no teste

cada corpo de prova. Após isto é feita uma avaliação da colonização do fungo em intervalos pré determinados, através de registro fotográfico, com o auxílio de uma lupa. A Fig. 6.35 mostra as placas contendo as amostras para ensaio.

O delineamento experimental para o Método da Placa de Petri foi montado partindo-se de duas amostras com os seguintes tratamentos:

1. *Aspergillus niger*
2. *Aspergillus fumigatus*
3. Consórcio (as duas espécies fúngicas)
4. Controle(sem inoculação das espécies fúngicas).

Os ensaios foram realizados com 5 repetições para cada tratamento, sendo os dados obtidos submetidos a uma análise estatística através do teste de Wilcoxon (não paramétrico). Nos 7°, 14°, 21°, 28°, 35°, 60°, 90° dias, os corpos de prova foram avaliados com o auxílio de uma lupa estereoscópica da marca Carl Zeiss, adotando-se o critério abaixo citado por Bravery (1978).

Nota	Descrição
0	Ausência de crescimento
1	Traços de crescimento
2	1-10% de recobrimento da área total do corpo de prova
3	10-30% de recobrimento da área total do corpo de prova
4	30-70% de recobrimento da área total do corpo de prova
5	mais de 70% da área total do corpo de prova.

Para a realização das fotografias foi utilizado uma lupa da marca Stemi SV 11, acoplada a um Monitor marca Sony (Color Video Printer). As Fig. 6.36 a 6.38 mostram detalhes destas fotos.

6.11.4.2 Resultados e Discussão

A interpretação dos resultados foi realizada através de observações à olho nu, microscopia, e registro fotográfico, ao longo do período experimental de 90 dias. Os resultados referentes a avaliação do crescimento fúngico nas duas formulações testadas com os dois métodos encontram-se na Tabela 6.4.

TABELA 6.4- Crescimento fúngico em duas formulações submetidas a testes acelerados de biodeterioração

DIAS	AMOSTRA 1		AMOSTRA 2	
	Câmara Tropical	Placa de Petri	Câmara Tropical	Placa de Petri
1	0	0	0	0
7	*	1	*	1
14	*	1	*	1
21	*	1	*	1
28	*	1	*	1
35	*	0	*	0
60	*	0	*	0
90	1	0	1	0

Nota	Descrição
*	Não observado
0	Ausência de crescimento
1	Traços de crescimento
2	1-10% de recobrimento da área total do corpo de prova
3	10-30% de recobrimento da área total do corpo de prova
4	30-70% de recobrimento da área total do corpo de prova
5	mais de 70% da área total do corpo de prova.

Com relação ao método da Placa de Petri, as avaliações iniciais, registradas nas Fig. 6.36 e 6.37, caracterizaram um pequeno crescimento das espécies fúngicas (análise aos 10 e 30 dias), o que não foi observado após este período. Também não foi possível caracterizar diferenças significativas com relação a colonização fúngica nas duas amostras.

Ao final de 90 dias de avaliação dos corpos de prova, em câmara úmida, observou-se na superfície do tratamento com formulação 1, regiões com aspecto algodinoso e filamentosos (Fig. 6.38) as quais foram posteriormente inoculados em ágar malte e transferidos para um meio de cultura para ser verificada a sua origem. De acordo com o resultado do crescimento em placa, foi encontrada a presença dos fungos *Aspergillus niger* e *Aspergillus fumigatus*.

Provavelmente o material com aspecto algodinoso seria um micélio, conhecido como micélio estéril, que no corpo de prova não encontra as condições ideais para seu desenvolvimento, mas quando é transferido para um meio de cultura apropriado, desenvolve-se normalmente. Essa forma de crescimento não caracteriza o aspecto alergênico apresentado pelos esporos (estruturas reprodutivas e de resistência) das espécies em questão.

A amostra 2, também submetida às mesmas condições (90 dias em câmara úmida), não apresentou o aparecimento das manifestações patológicas descritas acima. Na parte inferior do corpo de prova, no entanto, foram constatadas áreas mais escurecidas as quais, quando observadas em maior aumento, mostraram estruturas fúngicas esparsas e com esporos.

Os pequenos traços de crescimento, registrados após os 90 dias de observação, certamente devem-se às condições iniciais do ensaio, como a condição contínua de alta umidade e aos nutrientes.

6.11.3.3 Conclusão

Conforme ficou evidenciado neste experimento, as duas amostras testadas *não proporcionaram condições ideais para o crescimento fúngico*, uma vez que não foram registrados avanços na colonização fúngica após um período de 90 dias de observação.

O agregado de EVA poderá, portanto, ser empregado na construção civil sem a necessidade da incorporação de fungicidas, pois como ficou evidenciado, não há risco de ocorrer os problemas advindos do ataque destes fungos.

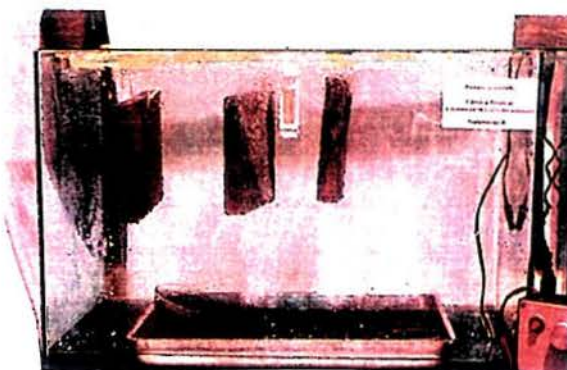


FIGURA 6.34 - Câmara tropical utilizada no ensaio de ataque fungico ao concreto de EVA

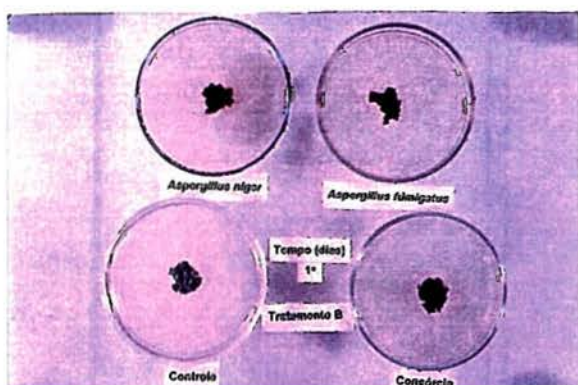


FIGURA 6.35 - Detalhe do ensaio de ataque fúngico com a placa de Petri



FIGURA 6.36 - Aspecto da borda do corpo de prova com *Aspergillus Fumigatus* com 10 dias de inoculação (aumento de 6X)



FIGURA 6.37 - Aspecto da borda do corpo de prova com *Aspergillus Fumigatus* com 30 dias de inoculação (aumento de 20X)



FIGURA 6.38 - Aspecto algodonofo e filamentosfo na superfície da formulação 1 com 90 dias de exposição em câmara úmida

7 CONSIDERAÇÕES SOBRE PROPRIEDADES E APLICAÇÕES

7.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas do concreto de EVA são função da massa unitária, como acontece com outros concretos leves. Para o concreto de EVA, no entanto, os valores encontrados são inferiores àqueles registrados para concretos ultra leves como os de perlita e vermiculita, ficando próximos aos do concreto com poliestireno expandido.

A resistência à compressão máxima nos ensaios foi de 3,5 MPa, chegando a 4,3 quando foram usadas adições minerais de cinza volante, o que pode ainda é considerado pouco para a fabricação de determinados componentes.

Como era esperado, devido às propriedades elásticas do agregado de EVA, a deformação do concreto sob carga foi bastante acentuada, o que pode ser evidenciado pelos baixos valores do módulo de elasticidade. O material mostrou grande capacidade em absorver deformações sem que ocorresse a desagregação do mesmo. Embora mereça estudos mais aprofundados quanto a cargas dinâmicas, esta propriedade resiliente do concreto de EVA é particularmente interessante para algumas aplicações, que serão abordadas adiante.

7.2 PROPRIEDADES FÍSICAS

As partículas do agregado de EVA têm uma estrutura celular, influenciando diretamente na porosidade do concreto. A medida que se aumenta o teor de EVA na mistura, os vazios entre os grãos do agregado não são totalmente preenchidos pela pasta de cimento e as propriedades físicas como absorção de água, porosidade e permeabilidade aumentam, e a massa unitária diminui.

Ainda que, uma comparação direta dos valores de absorção de água não possa ser totalmente aplicável, em virtude dos diferentes métodos de ensaio existentes, pode-se dizer que

o concreto de EVA absorve mais água que os demais concretos leves. Este fato tem particular importância no cobrimento da armadura, quando trabalha-se com peças armadas.

Embora não se tenha feito a determinação da condutividade térmica, a julgar pelas suas propriedades, o concreto de EVA com densidades entre 500 e 700 kg/m³ deve apresentar bons resultados no que se refere ao isolamento térmico, uma vez que trata-se de uma estrutura com muitos vazios.

7.3 RESISTÊNCIA AO FOGO

No teste expedito realizado em blocos, as partículas de EVA na face exposta ao fogo foram sublimadas, deixando vesículas, porém não houve propagação da chama nem colapso do material.

Para classificarmos o concreto de EVA como combustível ou não combustível fazem-se necessários ensaios de acordo com normas internacionais como a ISO 834 e BS 476. Estas levam em consideração a percentagem e a profundidade das vesículas na superfície do bloco, além da perda de massa e da temperatura na face oposta ao fogo.

No entanto, convém lembrar dois aspectos relatados por Short & Kinniburg (1967), em uma pesquisa sobre a resistência ao fogo de concretos leves:

- Embora deva ser dada a devida atenção à combustibilidade dos materiais de construção empregados, é o que existe dentro de um determinado ambiente que determina o maior ou menor risco de incêndio. No caso de ambientes de alto risco, devem ser utilizados materiais adequados, além do cuidado com as instalações de combate a incêndio;
- A resistência ao fogo de um material pode ser substancialmente alterada, por exemplo, pela aplicação de revestimentos especiais.

O ensaio expedito realizado para testar a resistência ao fogo do concreto de EVA mostrou que o mesmo não propaga a chama, sendo capaz também de resistir à ação pontual do fogo por algum tempo. Este fato leva a dizer que concreto de EVA não representa risco às construções no que se refere ao fogo.

7.4 PROPRIEDADES ACÚSTICAS

A parede sem revestimento não apresenta bom isolamento acústico, principalmente devido à porosidade do bloco que permite a passagem do som. Já quando revestida dos dois lados, esta parede passa a funcionar como um painel sanduíche, aumentando consideravelmente o isolamento, que foi similar ao de uma parede de alvenaria com blocos cerâmicos.

Outra propriedade importante na acústica é a absorção do som, o qual é medida pela capacidade que uma determinada superfície tem de absorver o som incidente sobre ela, sendo influenciada pela textura e rugosidade superficial do material. Neste aspecto o concreto de EVA sem finos poderá ser utilizado com bons resultados..

7.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE POTENCIAIS APLICAÇÕES DO CONCRETO DE EVA

As propriedades físicas e mecânicas do concreto de EVA foram analisadas e discutidas individualmente e comprovam que o mesmo poderá encontrar uso na construção civil em funções não estruturais. As propriedades deste concreto são semelhantes a de outros concretos leves como o de perlita, vermiculita e poliestireno expandido.

A finalidade da aplicação deve sempre ser levada em conta antes do preparo da mistura, pois esta definirá uma densidade e formulação específica. Algumas formulações indicativas podem ser visualizadas nas Tabelas 7.1 e 7.2.

Consumo de cimento muito baixos como o do traço 1:7 utilizado nesta pesquisa, não apresentaram propriedades físicas e mecânicas em níveis aceitáveis, mesmo para o emprego em funções não estruturais. Portanto, a menos que seja feito um estudo mais aprofundado usando aditivos e adições, não é indicado trabalhar com consumo de cimento inferior ao apresentado pelo traço 1:5 desta pesquisa.

Convém ressaltar que mesmo tendo ficado comprovada a viabilidade técnica para o desenvolvimento de um determinado produto com o concreto de EVA, a sua produção em escala industrial depende ainda da viabilidade econômica, a qual não é só função do custo/benefício do material, mas também da disponibilidade de materiais alternativos e dos métodos de produção. É necessário estudar questões mercadológicas locais antes de apontar

uma aplicação definitiva, principalmente considerando que o resíduo de EVA é um produto regional.

Baseado nas características do concreto de EVA evidenciadas neste estudo apontamos algumas aplicações possíveis:

7.5.1 Painéis Pré-Moldados

As técnicas de produção de painéis é bem conhecida da indústria de pré-moldados, podendo ser aplicadas ao concreto de EVA, desde que sejam observadas a resistência mínima e as condições exigidas para a mistura.

Para o caso do concreto de EVA, como em outros concretos leves similares, pode-se lançar mão dos chamados painéis sanduíche, com uma camada interna de concreto leve de EVA revestida nas duas faces por concreto convencional, garantindo a proteção da armadura e a resistência mecânica adequada.

7.5.2 Componentes Pré-Fabricados

A confecção de componentes é outra aplicação em potencial. Entretanto, alguns aspectos, como as dificuldades de manuseio nas primeiras idades e a baixa resistência mecânica, podem se constituir em aspectos negativos para determinadas aplicações.

No caso específico de blocos vazados de EVA, foi verificado que os mesmos não atingiram a resistência mínima de 2,0 MPa, exigida pela NBR 7173 para elementos de vedação. Como algumas misturas estudadas neste trabalho mostraram resistência superiores aos 2,0 MPa, talvez seja uma questão de mudança do desenho ou do tamanho do bloco para adequá-lo a esta necessidade.

A exemplo do que acontece com blocos de concreto celular, o bloco de EVA tem a seu favor, além do argumento de menor peso, outros aspectos também importantes. Podem ser facilmente cortados, furados ou serrados, facilitando a execução das instalações. Também garantem boa aderência quando da colocação de parafuso ou pino para a fixação de objetos.

7.5.3 Isolamento Térmico de Lajes e Forros

As propriedades físicas do concreto de EVA nos levam a concluir que o mesmo apresentará bom desempenho quando for empregado em funções de isolamento térmico, principalmente para as densidades mais baixas (500 a 700 kg/m³), devido a grande porosidade deste material. Como aplicações em potencial podem ser apontadas:

- O emprego em lajes de cobertura, na forma de uma camada de regularização
- Utilização como placas para forros.

7.5.4 Atenuação do Ruído de Impacto em Lajes de Entrepisos

O ruído de impacto, transmitido pelo vizinho de cima, é um dos principais problemas de conforto ambiental apontado pelas pessoas que moram ou trabalham em prédios de mais pavimentos. Como agravante deste problema são apontados a espessura das lajes, cada vez menor, os métodos construtivos empregados e a inexistência de materiais economicamente viáveis para a solução do problema.

O concreto de EVA apresentou grande capacidade de absorção de energia quando submetido a carga. Esta propriedade resiliente, devida as características elásticas do EVA, amortece o impacto, atenuando ou até mesmo eliminando o ruído.

Brondani (1998), estudando diferentes materiais para atenuação do ruído de impacto, mostra que os resíduos de EVA tem bom potencial de aplicação nesta função, conforme estudos efetuados na Universidade Federal de Santa Maria. Maiores estudos para o desenvolvimento de um produto viável se fazem necessários.

7.6 CORRELAÇÕES DE APLICAÇÃO PRÁTICA

As especificações para o emprego de concreto leve, geralmente levam em conta a densidade associada à resistência mecânica do material. Sendo assim, como uma das contribuições deste trabalho, visando facilitar a aplicação prática do concreto de EVA, a Fig. 7.1 apresenta um diagrama que permite a obtenção direta do traço de um concreto de EVA, a partir de uma determinada densidade. Neste diagrama também é possível obter, a resistência à

compressão e consumo de cimento para o traço escolhido, fornecendo assim as informações necessárias para que se faça a opção, levando em conta os critérios técnicos e econômicos.

As tabelas 7.1 e 7.2 apresentam a quantidade de material necessária para a produção de 1 m^3 de concreto para os traços 1:3 e 1:5, respectivamente. Cabe salientar que a produção de concretos mais leves requer maiores cuidados, para assegurar a aglomeração das partículas de EVA. Nestes casos, além do cuidado de saturar o agregado de EVA em água antes da mistura, o uso de aditivos para melhorar a coesão da mistura é recomendável.

TABELA 7.1 - Composição da mistura para 1 m^3 de concreto de EVA, com o traço 1:3

densidade (kg/m³)	cimento (kg)	areia (kg)	(1)	EVA (1)	água (1)
700	444	15	11	1470	100
800	442	120	84	1425	110
900	440	224	158	1350	120
1000	434	328	231	1250	130
1100	424	420	296	1150	140
1200	412	537	378	1010	154
1300	397	641	451	850	170
1400	380	745	525	700	190

TABELA 7.2 - Composição da mistura para 1 m^3 de concreto de EVA, com o traço 1:5

densidade (kg/m³)	cimento (kg)	areia (kg)	(1)	EVA (1)	água (1)
600	311	63	44	1685	74
700	304	173	122	1567	87
800	297	282	199	1449	100
900	289	392	276	1330	113
1000	282	502	353	1212	126
1100	274	612	431	1093	139
1200	267	721	508	975	152
1300	259	831	585	856	165
1400	252	941	662	738	178

Exemplo de aplicação:

Exigências para o concreto:

- densidade: 1100 kg/m^3
- resistência à compressão: Mínimo 1,5 MPa

Além da escolha do traço (em volume), o diagrama informa o teor de EVA necessário e o consumo de cimento para o traço escolhido.

Quadrante 01: Com os dados do concreto obtemos o traço de 1:5, (vermelho)

Quadrante 02: Com a densidade, obtemos o teor de EVA na mistura de 75%, portanto o traço será (1:1,25:3,75) (cimento: areia : EVA)

Quadrante 03: A partir do teor de EVA obtemos o consumo de cimento no caso 280 kg/m^3

1:3 1:5 1:7

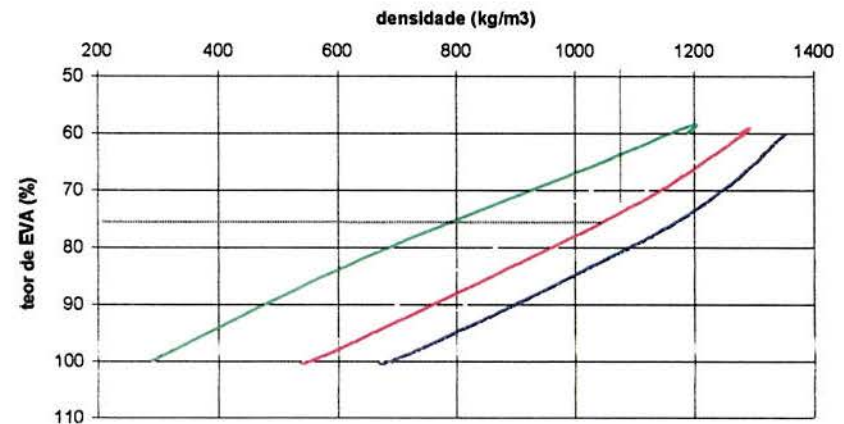
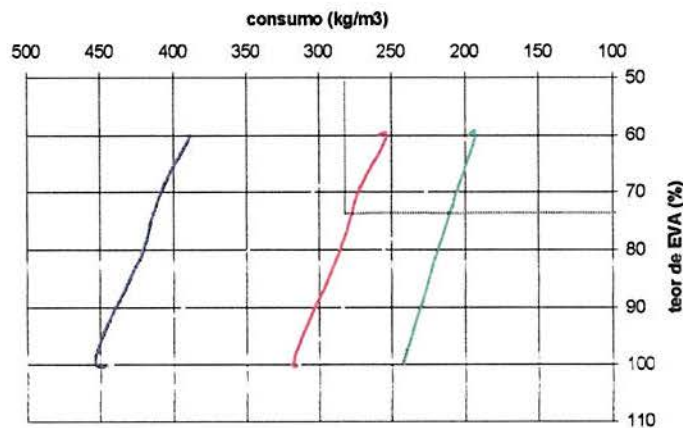
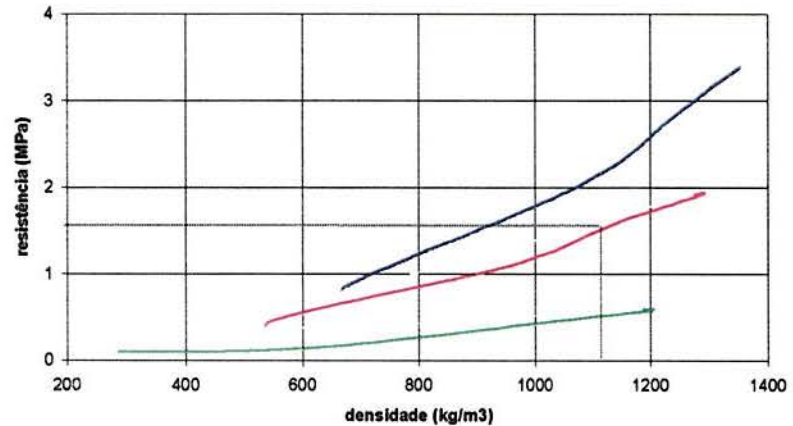


FIGURA 7.1 - Diagrama para escolha de um traço de concreto de EVA e suas propriedades em função da densidade

8 CONCLUSÕES

Após a análise e discussão dos resultados da parte experimental pode-se concluir que:

- A quantidade de resíduo de EVA gerada diariamente nas fábricas de calçado, é bastante grande, justificando plenamente a pesquisa pelo aproveitamento destes na construção civil, principalmente por se tratar de uma matéria prima de baixo custo.
- A obtenção do agregado de EVA consiste num processo simples e barato, bastando para isso moer as aparas provenientes das fábricas em um moinho de facas rotativas. O diâmetro dos grãos pode ser controlado pela abertura da peneira de saída do moinho. O estudo desenvolvido neste trabalho recomenda a adoção do diâmetro máximo inferior a 9,5 mm.
- A técnica de produção do concreto requer um pouco de cuidado em função da baixa massa unitária do EVA. Para facilitar o processo de mistura é recomendável a saturação prévia do agregado de EVA em água por pelo menos 15 minutos. Este procedimento evita que o agregado vá absorvendo a água de amassamento durante a mistura, o que prejudica a trabalhabilidade.
- O teor de EVA e o consumo de cimento na mistura do concreto serão determinados pelas características exigidas para o mesmo. O traço e a resistência à compressão do concreto, em função da massa unitária, poderão ser facilmente obtidos utilizando o diagrama da Fig. 7.1.
- As propriedades físicas do concreto endurecido, mesmo para as misturas mais homogêneas apresentaram elevados valores de absorção de água e índice de vazios. Este fato recomenda cuidados especiais com o revestimento de elementos confeccionados com este concreto para evitar patologias, principalmente em peças armadas.

- Em virtude das características específicas do agregado de EVA, as propriedades físicas e mecânicas do concreto de EVA são inferiores à maioria dos concretos com agregados leves quando compara-se massas unitárias similares. No entanto, as propriedades mecânicas podem ser melhoradas com misturas ricas em cimento, ou com a incorporação de adições minerais, conforme foi demonstrado no capítulo 6, com o inconveniente do aumento de custo.
- A resistência à compressão do concreto de EVA somente permite o emprego deste em funções não estruturais. A partir daí as possibilidades são muitas, sendo que as propriedades do concreto podem ser adequadas a cada caso, variando o teor de EVA e o consumo de cimento.
- Uma das propriedades mais marcantes do concreto de EVA foi a sua baixíssima rigidez, evidenciada no ensaio de módulo de elasticidade, comportamento atribuído às propriedades elásticas do EVA. Considerando essa característica resiliente, e levando em conta o alto consumo de cimento necessário para se obter resistência maiores, concluímos que o grande potencial de aplicação deste material está no isolamento térmico e na confecção dos chamados pisos flutuantes para atenuação do ruído de impacto transmitido em lajes entre piso de edifícios. Todas essas aplicações em potencial, no entanto, merecem estudos mais aprofundados.

8.1 SUGESTÃO PARA ESTUDOS FUTUROS

Por se tratar da primeira dissertação do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS a abordar o aproveitamento de resíduos de EVA na construção civil, é possível se apontar alguns caminhos em relação a continuidade da pesquisa nesta área.

- Desenvolvimento de placas de concreto de EVA para isolamento térmico de lajes e forros;
- Desenvolvimento de um produto viável para uso em pisos flutuantes, com o intuito de amenizar ruído de impacto. Esta parece ser o caminho mais promissor para o

aproveitamento dos resíduos de EVA, pois estaremos aproveitando ao máximo a grande ductilidade deste material;

- Investigar o uso do agregado de EVA com outros aglomerantes, como gesso e derivados de petróleo;
- Verificar a viabilidade do emprego do pó de EVA na confecção de concreto e componentes para a construção civil;
- Pesquisar os benefícios da utilização de pequenas quantidades do agregado de EVA no concreto convencional, a exemplo do que vem se fazendo com borracha de pneu nos Estados Unidos;
- Utilização como substitutivo de materiais isolantes térmicos e / ou acústicos tradicionais, cortiça, lã de vidro, lã de rocha, etc...
- Avaliação mais detalhada da resistência ao fogo do concreto de EVA;

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTAC. **Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil**. Anais do workshop. USP, São Paulo, 1996;
- ANTAC. **I Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**. Anais. Canela, RS, 1997;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria - Determinação da Resistência à Compressão** NBR 7184. Fev. 1982 4p;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Especificação**. NBR 7173. Fev. 1982 6p.;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Concreto - Determinação da Consistência pelo Espalhamento do Tronco de Cone**. NBR 9606. Set. 1986, 8p.;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Agregados: Determinação da absorção e da Massa específica de agregado graúdo. Método de ensaio**. NBR 9937. Ago 1987
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Determinação de Resistência à Tração na Flexão em Corpos de prova Prismáticos**. NBR 12142, 1994
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Ensaio de Compressão em Corpos de prova Cilíndricos de Concreto**. NBR 5739, 1974;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Argamassa e Concreto Endurecidos - Determinação da Absorção de Água por Imersão - Índice de Vazios e Massa Específica**. NBR 9778, 1986;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria com Função Estrutural**. NBR 7186, 1979;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Agregados Leves para Concretos de Elementos para Alvenaria**. Especificação P-EB - 228.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Moldagem e Cura de Corpos de Prova Cilíndricos ou Prismáticos de Concreto - Procedimento**. NBR 5738, 1994.;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Resíduos Sólidos - Classificação**. NBR 10004;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone**. NBR 7223, 1992;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Determinação do Módulo de Deformação Estática e Diagrama Tensão - Deformação**, NBR 8224, 1983;
- AGGARWAL, L. K. **Bagasse - Reinforced Cement Composites**. In: Cement and Concrete Composites, nº 17, 1995. pp. 107-112;
- ALBRECHT, H. **Concretos leves**. Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1968. 11p;
- ALONSO, M. A. and SUÁREZ, O. R. **Elementos prefabricados de hormigón con cenizas volantes. The use of fly ash in concrete blocks**. In: Materiales de Construcción, vol. 41, nº 224, 1991 pp. 43 - 54;
- ALLSOPP, D. & SEAL, K. **Introduction to Biodeterioration**. Ed. Edward Arnold,. 1986. pp 1-7;
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete**. American Concrete Institute, Proc., Detroit, v. 64, nº 8, aug. 1967. pp. 433-469;
- ANDRADE, A.C.. **Tijolos de cinza volante e cal: Estudo do desempenho quanto a resistência, absorção, durabilidade e aderência**. Porto Alegre, Dissertação de mestrado em Engenharia - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, 1991. 150p;
- BARBOSA M. T. G. **Viabilidade do uso do pó oriundo do forno elétrico (resíduo siderúrgico) na construção civil**. Porto Alegre: UFRGS, 1993 dissertação (mestrado em Engenharia)- Escola de Engenharia.
- BARRÓN E. U. **Polímeros, Estructura, Propiedades y aplicacionnes**. Moriega editores S/A. México 1989. 99p;
- BIEL, T. D. **Use of Recycled Tire Rubbers in Concrete**. Materials Engineering Conference, Vol. 3, San Diego, USA. Proceedings, 1994. pp.351-358;

- BIJEN, J. M. **The development of European standards and technical approvals for fly ash in concrete**. Proceedings of the Second International Symposium "Ash - A valuable resource". Vol. 1, Half Way House (South Africa), 21 - 23 February 1994. pp. 65-75;
- BOCK, E. & SAND, W. **The Microbiology of Masonry Biodeterioration**. Journal of applied bacteriology, 1993. pp. 503-514;
- BONILHA, J. Z. **Textos Didáticos de Engenharia - Instruções para Apresentação de Trabalhos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Biblioteca da Escola de Engenharia, 1996;
- BRAVERY, A. F. ; BARRYS, S. & COLEMAN, L. J. **International Biodeterioration Bulletin**. nº14, 1978;
- BRONDANI, S. A. & PIZZUTTI, J. L. **Pisos Flutuantes: Análise da Performance Acústica Quanto à Ruído de Impacto**. I Congresso Iberoamericano de Acústica. I Simpósio de Metrologia e Normalização em Acústica e Vibrações do Mercosul e 18º Encontro da SOBRAC. Anais, Florianópolis, SC. 1998. pp. 403-406;
- CAMARGO, A. **Minas de Entulho** . In: TÉCHNE. Revista de Tecnologia da Construção. Nº 15 , 1995 p. 15;
- CEB / FIP. **Lightweight Aggregate Concrete**. Comité Euro - International du Béton / Fédération Internationale de La Précontrainte. CEB/FIP. Manual of design and technology. New York, 17º ed. 1977;
- CHERIAF, et alli. **Valorização do Lodo da Indústria Têxtil como Novo Material de Construção Civil**. I Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Canela, RS 1997. pp. 75-81;
- CINCOTTO, M. A. **Utilização dos subprodutos e Resíduos na Indústria da Construção Civil**. In: Tecnologia das Edificações. São Paulo, PINI, 1988.
- CINCOTTO, M. A. , & JOHN, V. M. **Cimento alternativo à base de escória de alto - forno**. A construção na região Sul, São Paulo: Pini, nº 259, maio 1990 pp. 23-26;
- CINCOTTO, M. A. **Utilização de Subprodutos na Industria da Construção Civil** . In: Publicação IPT 2283, São Paulo, 1995;
- CLETO, P. **Composto de EVA Pretende Substituir PVC e Poliuretano**. Plástico Moderno, maio, 1996, pp. 24-26;

- COLLINS, R. E.; LUCKEVICH, L. J **Portland Cement in Resource Recovery and Waste Treatment**. Conference Proceedings, Ortech International;
- COOK, D. J. **Expanded Polysterene Concrete**. Concrete Technology e Design - Volume I - New Concrete Materials. Survey University Press University of Staffield, 1983;
- CORBOLI, N. **Do Caos à Solução**. In: Construção Região Sul. Nº 329, mar. 1996, pp. 8 - 11;
- CTCCA, **Cartilha do EVA**. Centro Tecnológico do Couro Calçados e Afins, Novo Hamburgo, RS, 1993;
- DAL MOLIN, D. C. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adições de microsilica**. Tese de doutorado em engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1995;
- DIEZ, M. A. L. M. & BARROS, N. S. **Avaliação para Preservação de Tintas**. In: First LABS - Latin American Biodeterioration Symposium, anais. 1992 pp: 106-121;
- ELDIN, N. N.; & SENOUCI, A. B. **Rubber-Tire Particles as Concrete Aggregate**. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 5, Nº 4, Nov. 1993;
- ELDIN, N. N.; & SENOUCI, A. B. **Observations on Rubberized Concrete Behaviour**. Cement, Concrete and Aggregates. Vol. 15, Nº 1, 1993. pp. 74-84;
- EUROPEAN DEMOLITION ASSOCIATION. **Demolition and Construction debris: Questionnaire about a EC priority waste stream**. The Hague, 1992;
- FARIAS J. A. **Cimento para alvenaria utilizando cinza de casca de arroz**. Dissertação Escola de Engenharia Porto Alegre, UFRGS, 1990;
- FILHO, F. J. T. & TEZUKA, Y. **Considerações sobre Algumas Propriedades dos Concretos Celulares Espumosos**. Boletim técnico da escola politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1992. 28p;
- GEYER, A. et all. **Sistema Construtivo para Habitação Popular Utilizando Resíduos Agrícolas**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 1993. pp. 333-349;
- GEYER A. L. B. et all. **Reciclagem de lodos de estações de tratamento de esgoto da cidade de Porto Alegre e seus usos na construção civil e em obras de geotecnia**. In

- anais do I Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Canela, RS. 1997;
- GOUMANS, J. J. J.R., et. all. **Waste Materials in Construction**. In: International Conference on Environmental Implications of Construction with Waste Materials, proceedings, Maastricht, the Netherlands, 10 -14 nov. 1991. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1991;
- GRIFFIN, P. S.; INDICTOR, N. & KOESTLER, R. J. **The Biodeterioration of Stone: A review of Deterioration Mechanics, Conservation Case Histories, and Treatment**. International biodeterioration 28, 1991. pp. 187-207;
- GUEDERT, et alli. **Utilização da cinza da casca de arroz como material pozolânico adicionado ao cimento portland para obtenção de aglomerantes alternativos**. In: Anais do II Simpósio de desempenho de materiais e componentes de Construção Civil. Florianópolis Set. 1989. pp. 152 -170.
- GUTT, W. and SMITH, M. A. **Utilization of Waste Materials in Building and Construction in Great Britain**. In: Silicates Industriales, 1976 nº12, pp. 521 - 533;
- HENDRIKS, F. **The Use of Concrete and Masonry Wastes as Aggregates for Concrete Production in The Netherlands**. In: Environmental Techonology, Proceedings of the Second European Conference on Enviromental Technology, Amsterdam, June, 1987;
- HUNTER, C. A.; et alli. **Mould in Buildings: The Air Spora of Domestic Dwellings**. International Biodeterioration, 24. 1988. pp. 81-101;
- ISAIA, G. C. **Dosagem de concreto com cinza de casca de arroz para produtos pré-moldados**. In: Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural, 24., 1987, Porto Alegre. Anais v 1, p. 205-218.
- ISAIA, G. C. **Entraves e Perspectivas para o uso de Elevados Teores de Cinza de Casca de Arroz em Concreto Estrutural**. In: Workshop - Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil - PCC - USP, São Paulo. Anais, 1996. pp. 45-50;
- JUNIOR, E. M. et alli. **Gerenciamento Ambiental: Alternativa de Estabilização de Resíduos Industriais e Urbanos com Cimento e Concreto**. Associação Brasileira de Cimento Portland, 1992;

- KULAKOWSKI, M. P. **Utilização do Pó Gerado na Produção de Ligas de Ferro-Silício e Silício Metálico em Concretos**. In: Workshop - Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil. PCC - USP, São Paulo. Anais 1996. pp. 123-131.;
- MAIA, M.A.C. et. alli. **Sistemas construtivos com uso de resíduos: Uma alternativa para reduzir o custo da habitação popular**. In: Anais do Encontro Nacional de Tecnologia do ambiente construído. Rio de Janeiro, Nov. 1995, pp. 503-509.
- MAIA, M. A. M. **Resíduos de Construção**. Revista Tecnologia / Fortaleza, nº14, Dez. / 1993. pp. 68-70;
- MARTINELLI S. **Bolsa de resíduos**. In I Encontro sobre Resíduos Sólidos Industriais. Set. 1985 Porto Alegre. RS.
- MASUERO, A. B. et alli. **Resíduos da Indústria Coureira: Caracterização e Potencialidade de uso da Cinza de Serragem Cromada**. In Anais do I Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil. USP, São Paulo, 1996, pp. 61 - 69;
- MEDEIROS, S. O. **O problema Ambiental e a Reciclagem dos Resíduos de Construções e Demolições**. In Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Piracicaba, 1995, pp. 822 - 824;
- MEHTA P. K., & MONTEIRO P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. Ed. Pini 1º edição nov. 1994. São Paulo 573p.
- MULHAUPT R. **Plásticos com futuro. Uma análise deste material a luz do equilíbrio ecológico**. F & C Embalagens. mai. 1993.
- NAHAS M. C. et alli. **Solid Residue. Treatment and Disposal in São Paulo, Environmental Aspects**. in 1º ENVIROTECH e 3º ECO'URBS. Rio de Janeiro 1995.
- NOLASCO, A. M. and AGNESINI, M. V. C. **Utilização de Resíduos da Indústria de Papel na Produção de Materiais para a Construção Civil**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1993, pp. 55 - 64;
- OGATA, M. G. **Os Resíduos Sólidos na Organização do Espaço e na Qualidade do Ambiente Urbano - Uma Contribuição Geográfica ao Estudo do Problema na Cidade de São Paulo**. São Paulo. Série recursos naturais e meio ambiente vol. 08 - IBGE. 1980. 187p;

- OKPALA, D. C. **Palm Kenell Shell as a Lightweight Aggregate in Concrete.** Building and Environmental, vol. 25, Nº 4, 1990. pp. 291-296;
- OTTOMAN, J. A. **Marketing Verde.** São Paulo: Makron Books, 1994.
- PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de Cimento Portland.** 7º edição. Editora Globo. Porto Alegre 1980;
- PERA, J. **State of The Art Report - Use of Waste Materials in Construction in Western Europe.** Anais do Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção. USP, São Paulo, SP. 1996. pp. 1-20;
- PINTO, F.P. **Minas de entulho.** In: Revista Técnica Nº15, p. 15-19, PINI. Mar/Abr 1995;
- PINTO, T. P. **Utilização de Resíduos de Construção: Estudo do Uso em Argamassas.** Dissertação de mestrado. UFSCar, São Paulo, 1986;
- PINTO, T. P. **Reciclagem de Resíduos da Construção Urbana no Brasil. Situação Atual.** In: Anais do Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil. USP, São Paulo, nov. 1996, pp. 159 - 170;
- PREZOTTO et.alli. **Etileno Acetato de Vinila - EVA. Planejamento e projeto da indústria química.** Porto Alegre, UFRGS. Nov. 1990, 256 p.(Trabalho de conclusão das disciplinas de planejamento e projeto da indústria química I e II)- Escola de Engenharia.
- RAMASWAMY, S. D. ; MURTHY C.K. and NAGARAJ T.S. **Use of waste materials and industrial by-products in concrete construction.** Concrete technology and design - volume I - New concrete materials. Edited by R. N. Swamy, Survey University Press. University of Staffield, 1983;
- RAMÍREZ SARMIENTE, C. S. & FREIRE, W. J. **Tratamentos Aplicados ao Bagaço de Cana-de-Açúcar, Visando sua Utilização para Fins de Material de Construção.** Workshop: Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil. PCC-USP. São Paulo. Anais pp. 131-136, 1996;
- RIBEIRO, J. L. D. **Projeto de Experimentos na Otimização de Produtos e Processos.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Notas de aula, 1995;

- RIBEIRO, M. E. T. & MORAES, J. M. **Produção de “EVA” no Cariri Cearense: Um Estudo de Caso.** Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Piracicaba, SP. Anais, 1995 pp. 846-846,;
- RILEM REPORT 6. **Recycling of Demolished Concrete and Masonry.** Edited by T. C. HANSEN. Copenhagen, 1992, 316p;
- ROCCA et. alli. **Resíduos sólidos industriais.** Trabalho elaborado pelo corpo técnico da CETESB, 2ªed. São Paulo, 1992.
- ROLIM, M. & FREIRE, W. J. **Solo-Vinhaça Concentrada: Aplicação na Fabricação de Tijolos.** Anais do workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil.. USP, São Paulo, 1996.
- RUDNAI, G. **Lightweight Concretes.** Publishing house of the Hungarian Academy of Sciences (1963);
- SANTOS, N. E. S. **Meio Ambiente e a Engenharia de Produção: O Que Fazer na Era do Ambientalmente Correto?** Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Piracicaba, São Paulo, 1995;
- SAUTEREY, R. **Allocution d’ouverture.** In: Colloque International Sur l’utilisation des sous-produits et déchets dans le genie civil, Paris, 1978. Proceedings...Paris, AAIEENPC, 1978, v.3 p. 1-9.
- SENAI - Serviço Nacional da Indústria - **Concreto Celular.** Departamento Regional - DF, Brasília, 1976, 70p;
- SCHULER, A. DAL MOLIN D. C. **Argamassas com Adição de Microssilica como Material para Reparos e Reforços Estruturais: Aderência ao Aço Integralidade das Peças Compostas.** In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 1995. pp. 693-698;
- SCHWARZ, L. B. **Reciclagem de plásticos. Aspectos técnicos, mercadológicos e de meio ambiente.** Anais do 5º Congresso Brasileiro de Petroquímica, Rio de Janeiro, outubro, 1992;
- SHORT, A. KINNIBURGH, W. **Concreto ligero.** Editorial Limusa - Wiley S. A., 1967;
- SHORT, A. KINNIBURGH, W. **Lightweight Concrete.** 3ª edição. London: Applied Science, 1978;

- SILVEIRA, A. et all. **A cinza da Casca de Arroz: Possibilidades de Utilização como Insumo na Produção de Materiais de Construção**. In I Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Canela, RS, 1997;
- SOARES, M. G. **Aproveitamento de serragem de couro curtido ao cromo para obtenção de compósitos utilizados em painéis**. Dissertação de mestrado / UFRGS. Porto Alegre, 1996. 97p.
- SOBRAL H.S. **Concretos Leves, tipos e comportamento estrutural**. 1º edição. Estudo Técnico da ABCP. São Paulo 1994.
- SOMMER, R. **Light Lightweight Concrete (Polystyrene - Foam) Concrete for Blocks Precast Elements**. Proceedings BIBM congress, 1975;
- SOUZA, M. L. P. et all. **Bolsa de Resíduos de Minas Gerais - Um Trabalho Interativo entre Empresas, Universidades e Órgão ambiental**. Associação Brasileira de Reciclagem de Materais Plásticos PLASTIVIDA. Plásticos e meio ambiente: experiência e situação atual. São Paulo, 1992, 20 p;
- SPRATT, B. H. **An Introduction to Lightweight Concrete**. Cement and Concrete Association, London, 1960;
- SPRINGLER, R. **Biodeterioration of Wood Coatings**. In: LABS 2 - Biodegradation and Biodeterioration in Latin American, pp: 41-50, 1995;
- TEZUKA, Y. **Concreto Leve à Base de Argila Expandida**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1973;
- TOPÇU, I. B. **The Properties of Rubberized Concretres**. Cement and Concrete Research. Vol. 25, Nº 2, 1995. pp. 304-310;
- TOUTANJI, H. A. **The Use of Rubber Tire Particles in Concrete to Replace Mineral Aggregates**. Cement & Concrete Composites Nº18. 1996. pp. 135 - 139;
- TRIUNFO, P. S.A. **Copolímero Etileno-Acetato de Vinila (EVA) - Características e Informações Gerais**. Folheto da Petroquímica Triunfo, RS, maio, 1994;
- UEKI M. M. **Estudo e proposição de um centro de reciclagem de plásticos frene à implantação da ISO 14000**. in XV National Congress of Product Engeneering. ENEGEP. São Carlos, São Paulo, 1995 Anais. pp. 458 - 462.

UNITED NATIONS. **Use of Precast Components in Masonry Building Construction.**

United Nations, Departmente of economic on Socied Affair. New York, 1972;

VERDÚ, F. A. **Concretos leves.** Curso de aperfeiçoamento sobre materiais de construção.

Porto Algre, 1963;

WEIGLER, H. & SEGMÜLLER, E. **Bewehrter Schaumstoffbeton-Korrosionsschutz der Bewehrung. Betonwerk und Fertigteiltechnik** 11, 1977. pp. 549-554;

ANEXOS

ANEXO A - CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

1. LISTAGEM DE PADRÕES DE CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES

- Listagem 1 - Resíduos perigosos de fontes não específicas;
- Listagem 2 - Resíduos perigosos de fontes específicas;
- Listagem 3 - Constituintes perigosos, base para a relação dos resíduos e produtos das listagens 1 e 2;
- Listagem 4 - Substâncias que conferem periculosidade aos resíduos;
- Listagem 5 - Substâncias agudamente tóxicas;
- Listagem 6 - Substâncias tóxicas;
- Listagem 7 - Concentração - Limite máximo no extrato obtido no teste de lixiviação;
- Listagem 8 - Padrões para o teste de solubilização;
- Listagem 9 - Concentrações Máximas de poluentes na massa bruta de resíduos utilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente da França para Classificação de Resíduos;
- Listagem 10 - Concentração mínima de solventes para caracterizar o resíduo como perigoso.

2. TIPOS DE RESÍDUOS SEGUNDO A NBR 10.004

2.1 Resíduos Classe I - Perigosos

São classificados como resíduos classe I ou perigosos os resíduos sólidos ou mistura de resíduos que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar risco à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

As listagens números 1 e 2 da NBR 10.004, fornecem uma relação de resíduos sólidos reconhecidamente perigosos. Os resíduos que submetidos ao teste de Lixiviação conforme a NBR 10.005, apresentarem teores de poluentes no extrato lixiviado em concentração superior aos padrões constantes da listagem 7 - Limite Máximo no Extrato obtido no Teste de Lixiviação, são classificados como perigosos.

São ainda classificados como resíduos perigosos os resíduos de restos de embalagens contaminados com substâncias da listagem número 5 e os resíduos de derramamento ou produtos fora de especificação de qualquer substância das listagens número 5 e 6.

2.2 Resíduos Classe II - Não inertes

Segundo a NBR 10004, são classificados como Classe II ou resíduos não inertes os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que não se enquadram na Classe I - perigosos ou na Classe III - inertes. Estes resíduos podem ter propriedades tais como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. A Norma não apresenta exemplos práticos, porém podem ser citados os resíduos que possuem poluentes em concentrações (lixiviado e solubilizado) superiores aos limites estabelecidos pela Norma específica.

2.3 Resíduos Classe III - Inertes

São ditos resíduos classe III ou resíduos inertes os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que, submetidos ao teste de solubilização (NBR 10006) não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados, em concentrações superiores aos padrões definidos na listagem 8 - "Padrões de Solubilização". Como exemplos destes materiais, pode-se citar: rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são facilmente decompostos.

ANEXO B - PROPRIEDADES DE ALGUNS TIPOS DE CONCRETO USANDO RESÍDUOS COMO AGREGADOS LEVES

TABELA 1 - Propriedades do concreto com serragem

Idade	fc (MPa)			Módulo de Ruptura (MPa)		
	1:1	1:2	1:3	1:1	1:2	1:3
7	15	4,5	2,5	2,8	1,6	0,8
14	25	6,5	3,5	4,0	2,1	1,3
21	29	8,0	4,5	4,7	2,3	1,5
28	31	8,5	5,0	5,0	2,5	1,6

Fonte: Ramaswamy, 1983

TABELA 2 - Propriedades do agregado de cortiça

Massa específica (g/cm³)	0.172 - 0.175
Módulo de Finura	4.10 - 4.30
Umidade (%)	0.25 - 0.30
Absorção de água (%)	23 - 24
Vazios (%)	55 - 60
Densidade* (kg/m³)	68.50 - 70.50
Diâmetro máximo (mm)	0.30 - 2.35

Fonte: Ramaswamy, 1983

TABELA 3 - Propriedades do concreto com casca de coco.

Propriedades	Valores
Densidade seca (kg/m³)	530.00
Resistência à compressão (MPa)	0.75
Resistência à flexão (MPa)	0.36
Retração por secagem (%)	0.57
Condutividade térmica (W/m°C)	0.06

Fonte: Ramaswamy, 1983

* O termo densidade encontrado na bibliografia refere-se a massa unitária do concreto.

TABELA 4 - Resistência à compressão de um concreto com cinza de casca de arroz

Proporção dos constituintes em peso			Resistência à compressão (MPa)		
Cimento	Cinza de casca de arroz	Cimento Portland	3 dias	7 dias	28 dias
1	70	30	24.7	36.5	44.0
2	50	50	26.9	40.2	59.2
3	30	70	32.8	46.8	60.4
4	20	80	28.7	46.8	61.3
5	0	100	23.0	33.5	43.6

Fonte: Ramaswamy, 1983

TABELA 5 - Resistência à compressão do concreto com cascas de amêndoa de palmeira

a/c	1:1:2		1:2:4	
	Densidade (kg/m ³)	fc (MPa)	Densidade (kg/m ³)	fc (MPa)
0.5	1780	22.2	1700	18.9
0.6	1700	19.8	1670	16.5
0.7	1670	16.5	1660	13.0
0.8	1630	14.9	1600	11.5

Fonte: Okpala, 1990

TABELA 6 - Propriedades das partículas de bagaço de cana (Aggarwal, 1995)

Granulometria (% retida nas peneiras):	
2.36 mm	1-2
1.18 mm	50-55
600 µm	36-40
150 µm	9-10
Densidade (kg/m³)	180-190
Absorção de água (%)	250-280
Quantidade de cinza (%)	3-4

Fonte: Aggarwal, 1995

TABELA 7 - Propriedades do compósito de bagaço de cana com cimento Portland

Densidade (kg/m³)	1550-1650
Umidade (%)	6.5-6.8
Absorção de água (%)	12.5-14.5
Retração por secagem (%)	0.30-0.46
Resistência à tração paralela as fibras (MPa)	1.58-1.71
Resistência à tração perpendicular as fibras (MPa)	1.06-1.14

Fonte: Aggarwal, 1995

QUADRO 1 - Estimativa anual em toneladas, do uso de diferentes adições no concreto, em vários países da Europa, excluindo o uso como adição ao cimento

País	pozzolanas naturais	cinza volante	Microsilica	escórias	calcário
Áustria	-	30.000	-	-	ocasional
Bélgica	-	80.000	ocasional	limitado	-
Dinamarca	-	100.000	25.000	-	-
Finlândia	-	100.000	50.000	5.000	-
França	-	200.000	17.000	-	450.000
Alemanha	-	340.000	-	-	-
Itália	50.000	1.800.000	-	-	-
Holanda	-	100.000	ocasional	-	-
Noruega	-	35.000	17.000	-	-
Portugal	limitado	95.000	-	-	-
Espanha	-	900.000	-	-	-
Reino Unido	-	1.040.000	1.000	-	-

Fonte: Bijen, 1994 apud Pera, 1996

ANEXO C- TABELAS DA ANÁLISE ESTATÍSTICA

TABELA C1 - Análise de variância para a massa unitária do concreto

Fonte de variação	GDL	MQ	F _{calc.}	F _{0,05}	Significativo
Traço (A)	2	208301,4	1090,483	3,89	S
% de EVA (B)	3	689274,2	3608,343	3,49	S
AB	6	12441,7	65,134	3,00	S
Erro	12	191,0176			

GDL - Graus de liberdade; MQ - médias quadradas; F - fator F, calculado; F_{0,05} - valor de F tabelado a um nível de significância de 5% (distribuição de Fisher); S - efeito significativo e NS - efeito não significativo.

TABELA C2 - Análise de variância para a resistência à compressão

Fonte de variação	GDL	MQ	F _{calc.}	F _{0,05}	Significativo
Traço (A)	2	7,008429	548,2474	3,89	S
% de EVA (B)	3	2,663050,	208,3220	3,49	S
AB	6	0,510962	39,9710	3,00	S
Erro	12	0,012783			

GDL - Graus de liberdade; MQ - médias quadradas; F - fator F, calculado; F_{0,05} - valor de F tabelado a um nível de significância de 5% (distribuição de Fisher); S - efeito significativo e NS - efeito não significativo.

TABELA C3 - Análise de variância para a resistência à tração na flexão

Fonte de variação	GDL	MQ	F _{calc.}	F _{0,05}	Significativo
Traço (A)	2	3,982454	373,0636	3,89	S
% de EVA (B)	3	0,509039	47,6851	3,49	S
AB	6	0,293476	27,6851	3,00	S
Erro	12	0,010675			

GDL - Graus de liberdade; MQ - médias quadradas; F - fator F, calculado; F_{0,05} - valor de F tabelado a um nível de significância de 5% (distribuição de Fisher); S - efeito significativo e NS - efeito não significativo.

TABELA C4 - Análise de variância para a absorção de água

Fonte de variação	GDL	MQ	F _{calc.}	F _{0,05}	Significativo
Traço (A)	2	364,9049	73,3981	3,89	S
% de EVA (B)	3	992,7551	199,6859	3,49	S
AB	6	17,9855	36177,027	3,00	S
Erro	12	4,971583			

GDL - Graus de liberdade; MQ - médias quadradas; F - fator F, calculado; F_{0,05} - valor de F tabelado a um nível de significância de 5% (distribuição de Fisher); S - efeito significativo e NS - efeito não significativo.

TABELA C5 - Análise de variância para a massa específica

Fonte de variação	GDL	MQ	F _{calc.}	F _{0,05}	Significativo
Traço (A)	2	126340,7	195,7716	3,89	S
% de EVA (B)	3	398860,0	618,0547	3,49	S
AB	6	16823,2	26,0684	3,00	S
Erro	12	645,3474			

GDL - Graus de liberdade; MQ - médias quadradas; F - fator F, calculado; F_{0,05} - valor de F tabelado a um nível de significância de 5% (distribuição de Fisher); S - efeito significativo e NS - efeito não significativo.

TABELA C6 - Análise de variância para a o índice de vazios do concreto de EVA

Fonte de variação	GDL	MQ	F _{calc.}	F _{0,05}	Significativo
Traço (A)	2	171,2487	101,6594	3,89	S
% de EVA (B)	3	59,6344	35,4011	3,49	S
AB	6	7,3589	4,3685	3,00	S
Erro	12	1,684533			

GDL - Graus de liberdade; MQ - médias quadradas; F - fator F, calculado; F_{0,05} - valor de F tabelado a um nível de significância de 5% (distribuição de Fisher); S - efeito significativo e NS - efeito não significativo.

TABELA C7 - Análise de variância para o módulo de deformação do concreto de EVA

Fonte de variação	GDL	MQ	F _{calc.}	F _{0,05}	Significativo
Traço (A)	2	2825404,0	745,9813	3,89	S
% de EVA (B)	3	2052238,0	541,8449	3,49	S
AB	6	360671,0	95,2266	3,00	S
Erro	12	3787,500			

GDL - Graus de liberdade; **MQ** - médias quadradas; **F** - fator F, calculado; **F_{0,05}** - valor de F tabelado a um nível de significância de 5% (distribuição de Fisher); **S** - efeito significativo e **NS** - efeito não significativo.

TABELA C8 - Análise de variância da tração por compressão diametral

Fonte de variação	GDL	MQ	F _{calc.}	F _{0,05}	Significativo
Traço (A)	2	0,363029	771,0354	3,89	S
% de EVA (B)	3	0,081393	172,8702	3,49	S
AB	6	0,028118	59,7198	3,00	S
Erro	12	0,000471			

GDL - Graus de liberdade; **MQ** - médias quadradas; **F** - fator F, calculado; **F_{0,05}** - valor de F tabelado a um nível de significância de 5% (distribuição de Fisher); **S** - efeito significativo e **NS** - efeito não significativo.