

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA
- MESTRADO -

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS
EM MATERIAIS ALTERNATIVOS NA PERSPECTIVA DA
CONSTRUÇÃO SECA: *BLOCO EVA - INTERTRAVAMENTO E
RACIONALIZAÇÃO DAS ALVENARIAS***

Por

FABIANO DE MELO DUARTE ROCHA

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba
para obtenção do grau de Mestre*

*João Pessoa - Paraíba
Março – 2008*

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS
EM MATERIAIS ALTERNATIVOS NA PERSPECTIVA DA
CONSTRUÇÃO SECA: *BLOCO EVA - INTERTRAVAMENTO E*
*RACIONALIZAÇÃO DAS ALVENARIAS***

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA
- MESTRADO -

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS
EM MATERIAIS ALTERNATIVOS NA PERSPECTIVA DA
CONSTRUÇÃO SECA: *BLOCO EVA - INTERTRAVAMENTO E
RACIONALIZAÇÃO DAS ALVENARIA***

Dissertação de mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Urbana da Universidade
Federal da Paraíba, como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre.

Fabiano de Melo Duarte Rocha

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Sandro Marden Torres**

*João Pessoa - Paraíba
Março – 2008*

R672a Rocha, Fabiano de Melo Duarte.

Aproveitamento de resíduos sólidos industriais em materiais alternativos na perspectiva da construção seca: / *Bloco Eva - intertravamento e racionalização das alvenarias* Fabiano de Melo Duarte Rocha.-- João Pessoa, 2008.

105f. : il.

Orientador: Aluísio Braz de Melo

Co-orientador: Sandro Marden Torres

Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT

1. Engenharia Urbana. 2. Blocos EVA - resíduos - reciclagem. 3. Alvenaria. 4. Construção seca. 5. Resistência à compressão.

FABIANO DE MELO DUARTE ROCHA

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS
EM MATERIAIS ALTERNATIVOS NA PERSPECTIVA DA
CONSTRUÇÃO SECA: *BLOCO EVA - INTERTRAVAMENTO E
RACIONALIZAÇÃO DAS ALVENARIA***

Dissertação apresentada e aprovada, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal da Paraíba, pela seguinte comissão examinadora:

APROVADA EM: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Sandro Marden Torres - UFPB
(Co-Orientador)

Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa - UFPB
(Examinador Interno)

Prof. Dr. Flávio Barboza de Lima - UFAL
(Examinador Externo)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, José Duarte e Maria Cristina,
pelo apoio integral e incondicional.

A Rafaella Lira pelo amor e paciência em
todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José Duarte Rocha e Maria Cristina de Melo Marin pelos exemplos, conselhos e apoio integral e incondicional.

A Rafaella Lira Amorim pelas palavras de incentivo, pelo carinho, pelo amor, pela compreensão e pela paciência de todos os dias.

Ao professor Dr. Aluísio Braz de Melo por minha formação acadêmica, profissional e pessoal. Por acreditar e apoiar o projeto de vida iniciado no ano de 2003 e continuado até hoje.

Ao professor Dr. Sandro Marden Torres, pela co-orientação, pelo entusiasmo e confiança transmitidos nas discussões.

Ao laboratório de ensaios em materiais e estruturas Universidade Federal da Paraíba(LABEME), em especial ao professor Dr. Normando Perazzo, pela atenção e apoio durante o trabalho.

À Zito e Ricardo, funcionários do LABEME, pelo auxílio na fase experimental da Pesquisa.

Aos verdadeiros amigos que fiz durante este curso de pós-graduação, Marçal e Moacir, pela amizade sincera.

À equipe EVA: Maíra Feitosa, José Rodrigo, Mariana Porto, Danielle Rosa, Rômulo Polari Filho e Marçal Rosas. Aos dois últimos pelos belos debates nos congressos e bares dos últimos 02 anos.

Aos professores do mestrado de Engenharia Urbana e Ambiental, por sempre se mostrarem disponíveis e pelos conhecimentos transmitidos.

À CAPES e à FAPESQ-PB, pelo apoio e incentivo financeiro imprescindíveis para a concretização desta pesquisa..

À empresa PARAIBOR, por permitir diversas vezes o acesso à linha de produção para retirada de matéria-prima para esta pesquisa, e por acreditar na viabilidade do desenvolvimento sustentável.

Enfim, a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para que este objetivo fosse alcançado.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

RESUMO

ABSTRACT

CAPÍTULO – 1

1.	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Generalidades.....	17
1.2	Justificativa.....	18
1.3	Objetivos.....	20

CAPÍTULO – 2

2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1	O EVA (etileno acetato de vinila).....	21
2.1.1	O Processo de geração do resíduo de EVA.....	22
2.1.2	A reciclagem dos resíduos da indústria de calçados (E.V.A.) na construção civil.....	24
2.2	Concreto leve.....	26
2.2.1	Classificação dos concretos leves.....	26
2.2.2	Concreto com agregados leves.....	27
2.2.3	Características do concreto com agregado leve no estado fresco.....	30

2.3	Concreto leve com agregado de EVA.....	31
2.4	Alvenaria.....	35
2.4.1	Componentes da alvenaria.....	35
2.4.2	Blocos.....	35
2.4.3	Blocos para alvenarias intertravadas.....	36
2.4.4	Argamassa de assentamento	38
2.5	Resistência à compressão da alvenaria.....	40
2.5.1	Influência dos componentes na resistência à compressão da alvenaria...	40
2.5.2	Blocos.....	41
2.5.3	Argamassa de assentamento.....	42
2.6	Relação água/aglomerante em compósitos cimentícios.....	46

CAPÍTULO – 3

3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	48
3.1	Generalidades.....	48
3.2	Bloco EVA -novas dimensões e encaixes.....	51
3.2.1	Projeto do Bloco EVA.....	52
3.3	Caracterização dos Materiais.....	65
3.3.1	Agregado miúdo (agregado natural).....	65
3.3.1.1	Ensaios realizados.....	65
3.3.2	Agregado de EVA (agregado artificial).....	66
3.3.2.1	Ensaios realizados.....	67
3.3.3	Cimento.....	67
3.3.4	Água de amassamento.....	69
3.4	Preparo dos Compósitos.....	69
3.4.1	Determinação da relação água/cimento.....	69
3.4.2	Composição do traço adotado.....	71
3.4.3	Mistura dos materiais.....	72
3.5	Moldagem dos Blocos EVA.....	73
3.6	Argamassa de assentamento.....	76

3.7	Execução dos painéis.....	77
3.8	Caracterização do Concreto Leve.....	79
3.8.1	Estado fresco.....	79
3.8.1.1	Determinação da massa unitária.....	79
3.8.1.2	Trabalhabilidade e consistência.....	80
3.8.2	Estado endurecido.....	81
3.8.2.1	Determinação da resistência à compressão dos blocos EVA...	81
3.8.2.2	Desempenho das paredes com os Blocos EVA.....	81
3.8.2.3	Determinação da massa específica aparente (seca ao ar).....	83

CAPÍTULO – 4

4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85
4.1	Caracterização dos materiais.....	85
4.1.1	Agregado miúdo (agregado natural).....	85
4.1.2	Agregado leve artificial de EVA.....	86
4.1.3	Cimento.....	88
4.2	Caracterização do Concreto Leve.....	88
4.2.1	Determinação da relação água/cimento.....	88
4.2.2	Massa unitária em estado fresco e massa específica aparente seca ao ar	89
4.2.3	Resistência à compressão dos Blocos EVA.....	90
4.2.4	Resistência à compressão da argamassa de assentamento.....	93
4.2.5	Resistência à compressão dos painéis e prismas com blocos EVA.....	94
4.2.6	Deslocamentos nos painéis	97
4.2.7	Consumo de materiais.....	99

CAPÍTULO – 5

5.	CONCLUSÕES.....	100
-----------	------------------------	-----

CAPÍTULO – 6

6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
-----------	--	-----

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	- Resíduos gerados durante o processo de fabricação de calçado em forma de aparas de sandálias.....	23
Figura 2.2	- Detalhe do resíduo EVA em forma de aparas de sandálias pó.....	24
Figura 2.3	- Detalhe dos blocos de vedação produzidos a partir dos resíduos da indústria de calçados (EVA) e materiais utilizados na sua confecção (cimento, areia e EVA).....	25
Figura 2.4	- Classificação dos sistemas de alvenaria intertravada.....	39
Figura 2.5	- Estado de tensões atuantes nos blocos e nas juntas de argamassa.....	46
Figura 2.6	- Resistência à compressão x relação água/aglomerante.....	47
Figura 3.1	- Quadro esquemático da metodologia adotada.....	50
Figura 3.2	- Estudo de encaixes em pré-moldados diversos.....	52
Figura 3.3	- Bloco tijolito em solo-cimento.....	53
Figura 3.4	- Bloco Isopet.....	53
Figura 3.5	- Repertório de blocos estudados durante o projeto do bloco EVA.....	54
Figura 3.6	- Travamento de giro no encaixe do tipo tronco e pirâmide.....	54
Figura 3.7	- Comportamento das vedações tradicionais ao fechamento dos vãos.....	55
Figura 3.8	- Relação entre a altura das portas e a altura dos blocos de vedação.....	56
Figura 3.9	- Fôrmas a serem confeccionadas para a produção dos blocos EVA.....	57
Figura 3.10	- Bloco EVA e a possibilidade de corte ao meio, gerando os blocos complementares.....	58
Figura 3.11	- Seqüência indicada para o assentamento dos blocos EVA.....	59
Figura 3.12	- Projeto do bloco EVA.....	60
Figura 3.13	- Elevações de painéis com relação entre alturas da edificação.....	61
Figura 3.14	- Planta baixa de habitação de interesse social da PMJP.....	62
Figura 3.15	- Planta baixa de 1 ^a Fiada.....	63
Figura 3.16	- Planta baixa de 2 ^a Fiada.....	64
Figura 3.17	- Comportamento do bloco EVA em portas e janelas.....	65

Figura 3.18	- Detalhes de moinho triturador, retalhos das placas, peneira e agregado artificial de EVA.....	66
Figura 3.19	- Processo de moldagem e desforma dos blocos EVA com máquina vibro-prensa utilizada no LABEME/CT/UFPB.....	73
Figura 3.20	- Simulação de amarrações entre os blocos EVA.....	74
Figura 3.21	- Blocos EVA após cura inicial em câmara úmida.....	75
Figura 3.22	- Processo de cura dos blocos EVA imersos em tanque com água saturada com cal.....	75
Figura 3.23	- Confecção dos prismas e ensaios de resistência à compressão dos mesmos.....	76
Figura 3.24	- Corte no bloco EVA originando dois meio blocos da família.....	77
Figura 3.25	- Processo de execução da parede com blocos EVA.....	78
Figura 3.26	- Ensaio de abatimento com o concreto com EVA.....	80
Figura 3.27	- Detalhe do ensaio de compressão do bloco EVA.....	81
Figura 3.28	- Detalhe do procedimento de transporte dos painéis EVA ao local de ensaio.....	81
Figura 3.29	- Detalhe da prensa utilizada no ensaio de compressão dos painéis.....	82
Figura 3.30	- Detalhe do painel pronto para ser ensaiado e do posicionamento dos deflectômetros.....	83
Figura 4.1	- Curva Granulométrica da areia e enquadramento na respectiva zona de classificação estabelecida pela NBR 7211.....	85
Figura 4.2	- Curva granulométrica do agregado artificial leve de EVA.....	86
Figura 4.3	- Resistência à compressão dos blocos EVA produzidos com os compósitos C1, C2.....	90
Figura 4.4	- Resistência à compressão dos blocos EVA em função do teor de incorporação do agregado de EVA, para as idades de controle de 7 e 28 dias.....	90
Figura 4.5	- Capeamento das faces do bloco EVA (esquerda) e ensaio de resistência à compressão (direita).....	91
Figura 4.6	- Detalhes da primeira fissura e do final do ensaio após o colapso da parede com a sua desmontagem.....	94
Figura 4.7	- Resultado do encurtamento médio das paredes com bloco EVA 80%, em função da carga atuante.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	- Traços sugeridos para fabricação de blocos de vedação.....	34
Tabela 2.2	- Resultados da análise técnico-econômica realizada com concreto convencional, e concretos leves com argila expandida e agregado de EVA.....	35
Tabela 2.3	- Valores admissíveis para à resistência à compressão das unidades em função da sua aplicação e material utilizado.....	36
Tabela 2.4	- Valores de eficiência parede-bloco.....	43
Tabela 3.1	- Compósitos utilizados na pesquisa.....	49
Tabela 3.2	- Ensaios de caracterização da areia e suas respectivas normas.....	66
Tabela 3.3	- Ensaios de caracterização do agregado de EVA (agregado artificial) e as respectivas normas técnicas.....	67
Tabela 3.4	- Características físicas do cimento.....	68
Tabela 3.5	- Composição química do cimento.....	68
Tabela 3.6	- Estudo de resistência do concreto EVA em função da relação água/aglomerante.....	70
Tabela 3.7	- Compósitos utilizados e respectivos teores de substituição de agregado de EVA.....	71
Tabela 4.1	- Propriedades físicas da areia utilizada.....	84
Tabela 4.2	- Composição granulométrica da areia utilizada.....	85
Tabela 4.3	- Propriedades físicas dos agregados de EVA.....	86
Tabela 4.4	- Massa dos blocos EVA, massa unitária em estado fresco e massa específica aparente (seca ao ar) dos compósitos, em função do traço utilizado e do teor de incorporação de agregado de EVA.....	88
Tabela 4.5	- Resultados comparativos entre os blocos EVAP1, EVAP2 e EVA, com as respectivas paredes e cálculo da eficiência.....	91
Tabela 4.6	- Valores médios de resistência à compressão e carga de ruptura por metro linear dos painéis EVA.....	93
Tabela 4.7	- Resistência à compressão dos prismas e blocos EVA isoladamente.....	95
Tabela 4.8	- Eficiência média dos painéis EVA.....	95
Tabela 4.9	- Resistência à compressão dos blocos EVA aos 28 dias e consumo de materiais por bloco e por metro cúbico de concreto EVA produzidos.....	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a/agl	Relação água/aglomerante
a/c	Relação água/cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Bloco EVA	Bloco vazado de concreto produzido a partir de concreto com agregado de EVA
CTCCA	Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins
D _{máx}	Dimensão máxima característica do agregado
EVA	Etileno acetato de vinila
f _c 28	Resistência à compressão simples aos 28 dias
f _c 7	Resistência à compressão simples aos 7 dias
NBR	Norma Brasileira
Painel EVA	Alvenaria executada com blocos EVA
LABEME	Laboratório de ensaios em materiais e estruturas
UFPB	Universidade Federal da Paraíba

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo de reaproveitamento de resíduos de E.V.A. (Etileno acetato de vinila) da indústria de calçados (aparas da produção de solados e palmilhas) na produção de blocos para construção civil sem função estrutural. Como parte de uma pesquisa mais ampla, este estudo se concentrou em desenvolver dimensões compatíveis com o material em questão (concreto leve) assim como no desenvolvimento de mecanismos que permitissem a construção seca. Desta forma, busca-se oferecer uma alternativa ecologicamente correta a um resíduo que hoje é depositado de forma inadequada na natureza e ao mesmo tempo reduzir o consumo de agregados naturais e consequentemente os danos que sua extração causa ao meio ambiente. O foco na construção seca persegue ainda a otimização das alvenarias reduzindo: mão-de-obra; consumo de argamassa de assentamento e até a produção de resíduos no próprio canteiro de obra. A pesquisa foi dividida em duas frentes: o desenvolvimento de dimensões e geometria (encaixes) compatíveis com as propriedades do concreto leve com agregado artificial de EVA e o teste de produção destes blocos com análise do desempenho mecânico dos mesmos isoladamente e em painéis. A etapa de projeto do bloco EVA foi subsidiada por estudos sobre: concreto leve com incorporação de EVA, projetos modulares, racionalização de alvenarias e projetos institucionais de habitação social. Nesta etapa foram projetados ainda moldes metálicos que permitissem a produção em laboratório de blocos em máquina tipo vibroprensa. Foi escolhido, com base em estudos anteriores, o traço em volume de 1:5 (aglomerante:agregados) com variações de teor de EVA incorporado em 80% e 90% em relação ao volume total de agregados. Resultados de resistência à compressão da ordem de 1,20MPa com cura de 28 dias apontaram a viabilidade da produção em série de blocos produzidos com a incorporação de 80% de EVA. Os ensaios dos blocos EVA em prismas e painéis confirmaram a ductilidade deste tipo de concreto, com grandes deformações na direção do carregamento. Este comportamento revela uma propriedade capaz de combater algumas patologias nas alvenarias comumente encontrada em edificações nos dias de hoje. Verifica-se, portanto, que com o bloco EVA proposto consegue-se um equilíbrio entre uma resistência à compressão próxima do desejável, leveza interessante para o componente e geometria com encaixes e dimensões adequadas que facilitam a manipulação dos elementos durante a execução de alvenaria. A proposta de um método geral de desenvolvimento de peças a partir de materiais inovadores ou alternativos é uma contribuição para o desenvolvimento de materiais que possam apontar um viés sustentável à dinâmica de produção do espaço construído pelo homem.

Palavras chave: Blocos EVA, reciclagem, resíduos, alvenaria, construção seca, resistência à compressão

ABSTRACT

This work presents the investigation of re-use of EVA residues (Ethilene Vinil Acetate) at footwear's industry (waste in the production of sole-leather and insoles) due to the production concrete blocks. As a part of a global research, this work is concerned on both the development of compatible dimensions of the referred material (lightweight concrete) and mechanisms that allow dry construction. Accordingly, this research aims at offering an ecological alternative for a residue that is nowadays put down inappropriately in the environment as well as the reduction of the natural aggregates consumption and the damages caused by their extraction from nature. The focus on dry construction intends the optimization of the masonries by reducing: labour, cement consumption and even the production of residues. The research was divided into two parts: the development of compatible dimensions and geometry (notches) with the features of the lightweight concrete and EVA artificial aggregate; and production tests of the blocks which allowed the mechanical analysis, both isolated and in panels. The stage of the EVA block project was supported by studies concerned to: lightweight concrete with EVA incorporation, modulated projects, masonry rationalization and institutional projects of social habitation. It was projected metallic moulds that would allow the block production in laboratory through press machine. It was chosen, regarding to previous studies, the mixture of 1:5 (cement: aggregates, in volume) with an EVA incorporation that ranged from 80% to 90% in the total volume of the mixture. The results of average strength of 1,20 MPa after 28 days demonstrated the viability of the industrial production of blocks with a mixture of 1:5 (cement: aggregates) and EVA incorporation level of 80%. The tests of the EVA blocks in prisms and panels proved the high flexibility of this type of concrete, with big deformations in the loading direction. This behaviour reveals an able feature to combat some masonry pathologies usually found in construction nowadays. Therefore, It was verified that the EVA block proposed reaches a balance between a compression resistance close to the desired, an interesting lightness for the component and appropriate geometry with notches and dimensions to facilitate the manipulation of the elements during the masonry production. The proposal of a general method for piece construction from innovative and alternative materials is a contribution to the development of materials that may look forward on the sustainability of the dynamic of space production.

Key words: EVA blocks, recycling, residues, masonry, dry construction, resistance to compression.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

Com o crescimento populacional e, consequentemente, o crescimento das cidades, o meio ambiente vem sendo gradativamente devastado e ameaçado pelos detritos produzidos durante esse processo. A esse fenômeno de expansão urbana está aliado o crescimento do setor industrial, trazendo também consigo o aumento da emissão de resíduos no meio ambiente.

Diante do agravamento desse problema, a legislação brasileira passou a impor maiores exigências, obrigando os geradores dos resíduos a serem os seus responsáveis. Entretanto, como essa responsabilidade exige certo custo, muitas empresas passam a depositar seus resíduos em aterros clandestinos, contribuindo para aumentar a degradação ambiental.

Na indústria calçadista, o problema da geração de resíduos vem se agravando, pois, impulsionadas pela competição do mercado, elevam a sua produtividade. Ocorre que, durante a fabricação dos calçados, são produzidos sobras e retalhos que não servem para a reutilização na própria indústria, daí o acúmulo crescente desses resíduos com o crescimento econômico do setor calçadista. (GARLET E GREVEN, 1996). Na Paraíba, constata-se que nas últimas décadas, com o crescimento populacional e do setor industrial, a geração de resíduos vem

aumentando igualmente ao crescimento do setor; o que constitui um ameaça à saúde pública e contribui para agravar a degradação e contaminação ambiental, piorando a qualidade de vida da população.

Assim, a reciclagem desses resíduos surge neste contexto para eliminar os impactos negativos causados pela disposição inadequada dos mesmos, minimizando o problema da degradação ambiental, evitando um futuro esgotamento das reservas de matérias-primas e também, eliminando os custos com o armazenamento dos resíduos.

1.2 Justificativa

Segundo Garlet (1998), o setor calçadista é um dos maiores segmentos industriais do Brasil, entretanto é reconhecido como grande gerador de resíduos. As regiões do Brasil que concentram várias empresas produtoras de calçados – os chamados pólos calçadistas, enfrentam problemas no que se refere à administração de seus resíduos. Sabe-se que a produção média de resíduos de E.V.A. (Etileno Acetato de Vinila (aparas das mantas para produzir solas e palmilhas de calçados)) tem sido muito grande, e o fato de ser um material leve (de 90 a 300 kg/m³) e não biodegradável torna difícil encontrar forma adequada de armazenar esse resíduo.

Estudos anteriores (GARLET E GREVEN (1998), BEZERRA (2002), MELO et al (2002), POLARI FILHO (2005) e PIMENTEL (2005)) têm demonstrado a viabilidade em utilizar o resíduo da indústria de calçados (EVA) como agregado leve na produção de blocos vazados de vedação, com base em compósitos cimentícios. Segundo estes autores, é possível

se utilizar até 80% do resíduo de E.V.A. como agregado leve substituindo o agregado natural (areia e pedrisco), atingindo resistência à compressão superior a 2,0 MPa, que é o valor mínimo estabelecido na Norma (NBR 6136) para blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. A questão é que, para isso, tem-se utilizado alto consumo de cimento Portland, aumentando o custo unitário dos produtos propostos. Melhores resultados associados a menores consumos de cimento Portland são possíveis na fabricação dos blocos de EVA, porém com menores resistências.

Deve-se lembrar que os blocos propostos são componentes construtivos alternativos sem normas específicas para eles. Portanto, é importante avaliar qual a resistência à compressão mínima deve ter esse bloco alternativo, levando em conta o seu comportamento mecânico diferente (o material é bastante dúctil) e sua leveza em relação ao bloco de concreto. Levando em conta que se trata de um material alternativo com desempenho diferenciado em relação ao bloco de concreto, ainda há que se ampliem os estudos visando à definição de parâmetro quanto à resistência à compressão mínima dos elementos individualmente, de prismas e das alvenarias executadas com eles.

Este trabalho procura dar enfoque ao processo de pré-moldagem, tendo em vista a construção seca em que os elementos se encaixam através de intertravamentos, numa sequencia de montagem pré-definida. Adicionalmente, considerando que se trata de compósito cimentício leve, devido ao aproveitamento de resíduos de EVA, justifica-se ainda se pensar em blocos com maiores dimensões, de modo a aumentar a produtividade na execução de alvenarias de vedação.

Levando-se em conta que grande parte dos custos de uma construção vem da mão-de-obra e, sendo assim, blocos com maiores dimensões e não mais pesados, e com facilidades de encaixe entre os elementos podem representar alguma redução no custo global da construção.

1.3 Objetivos

Esta pesquisa tem como objetivo geral consolidar o aproveitamento dos resíduos de EVA (Etileno Acetato de Vinila) provenientes das indústrias calçadistas (aparas e sobras na fabricação de sandálias) na confecção de blocos de vedação utilizados na construção civil que contemplem mecanismos para construção seca, apresentando-se como uma solução alternativa e ecologicamente correta para tratar tais resíduos industriais.

Vinculados ao objetivo central do trabalho, temos como objetivos específicos:

- Desenvolver, a partir de estudo de modulação, blocos de vedação para a construção seca compatibilizando: dimensão; peso; geometria e encaixes horizontais e verticais entre os blocos propostos;
- Determinar o teor de incorporação ideal de resíduos para o bloco proposto, assim como a relação água/aglomerante mais adequada para a trabalhabilidade do material;
- Avaliar o comportamento mecânico dos blocos de EVA propostos em função de cargas verticais;
- Avaliar o comportamento mecânico de alvenarias de vedação executadas com blocos de EVA propostos em função de cargas verticais e do desempenho dos encaixes.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 E.V.A. (Etileno acetato de vinila)

É um polímero microporoso obtido por polimerizações via radicais livres do Etileno com Acetato de Vinila em reatores de alta pressão. Sua homogeneidade na reação garante um produto final (resina) uniforme e de alta qualidade.

No processo supracitado, a quantidade de Acetato de Vinila define as características do composto final de EVA. Pois, na medida em que se tem maior quantidade de Acetato de Vinila, suas propriedades se assemelham às da borracha ou PVC plastificado. Se diminuirmos esta quantidade, o EVA assume características similares ao do polietileno de baixa densidade (PREZOTTO, 1990 apud GARLET 1998).

Os copolímeros EVA podem ser sintetizados em diversas porcentagens (em peso) de Acetato de Vinila, e divididos em EVA de baixa concentração (até 20% de EVA) e EVA de alta concentração (20% até 50%). As resinas utilizadas na produção de placas para solados de calçados, apresentam Acetato de Vinila em uma quantidade entre 19% e 28%, no Brasil. (CTCCA, 1993)

As principais características do EVA aplicado na Indústria de calçados são:

- Flexibilidade e Tenacidade, mesmo em baixas temperaturas;
- Elasticidade similar à da borracha;
- Atóxico¹;
- De fácil molde por extrusão, injeção e filmagem (tubular) ou placas;
- Baixo preço;
- É um material termofixo, ou seja, podem ser modificados irreversivelmente por aquecimento.

Especificamente na indústria calçadista, o EVA é utilizado em placas expandidas que são recortadas em máquinas especiais para obtenção de solados e palmilhas. Para se obter um melhor acabamento, as palmilhas e solados precisam ser lixadas.

2.1.1 O Processo de geração do resíduo de EVA

Durante o processo de fabricação de calçados, são gerados dois tipos de resíduos. Os primeiros são as inevitáveis sobras das placas expandidas oriundas do processo de obtenção dos formatos dos calçados (cortes) e possíveis refugos de solado, entressola ou palmilha do calçado. O segundo é o pó oriundo do lixamento do calçado na fase de acabamento.

¹ A utilização deste compósito em solados e palmilhas não trás riscos de intoxicação aos seus usuários.



Figura 2.1- Resíduos gerados durante o processo de fabricação de calçado em forma de aparas de sandálias.

FONTE: ROCHA, 2004.

Esse pó é relativamente fácil de processar. Mas os resíduos das sobras das placas expandidas são de difícil e lento reaproveitamento. Além disso, não mais do que 40% destes conseguem ser reaproveitados. Este volume de resíduos excedente tem se mostrado um grande problema ambiental nas regiões que possuem pólos industriais de calçados, pois a deposição desses em aterros sanitários representam sérias implicações causadas pela baixa velocidade de degradação (produto não-biodegradável) e a possibilidade de provocar sérias contaminações ao meio ambiente. Além disso, a incineração desses resíduos também não é recomendada devido à liberação de gases tóxicos.

Algumas indústrias de calçados têm vendido estes refugos sólidos para indústrias de cimento. As indústrias de cimento aproveitam o potencial combustível dos resíduos de EVA nos fornos de fabricação do cimento. Porém, este processo pode contribuir para uma contaminação do cimento Portland durante a sua fabricação, por causa do sulfato adicional com origem no resíduo de EVA. Quando isso ocorre, poderá haver problemas de deterioração dos concretos estruturais que utilizarem tais cimentos.



Figura 2.2- Detalhe do resíduo EVA em forma de aparas de sandálias pô
FONTE: BEZERRA, 2002.

Portanto, essa forma de aproveitamento dos resíduos das indústrias de calçados precisa ser repensada, pois devem se buscar formas seguras de destino para esses resíduos, e não a simples transferência dos problemas causados por eles de um local para o outro.

2.1.2 A reciclagem dos resíduos da indústria de calçados (EVA) na construção civil

Garlet (1998) e Bezerra (2002) desenvolveram formas de reciclar o EVA gerado na produção de calçados, incorporando-o ao concreto na obtenção de blocos de vedação. Esta pesquisa busca desenvolver blocos de vedação para a construção civil com novas dimensões e nova geometria como forma de explorar a utilização do compósito EVA, compatibilizando dimensão e peso dos blocos.

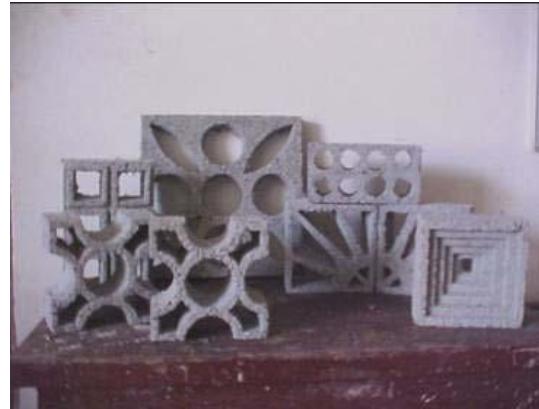


Figura 2.3 - Detalhe dos blocos de vedação produzidos a partir dos resíduos da indústria de calçados (EVA) e materiais utilizados na sua confecção (cimento, areia e EVA);

FONTE: POLARI, 2005

Os estudos supracitados mostraram que concretos produzidos com compósitos EVA (polimétricos) apresentam consumo de cimento maior se comparado ao concreto convencional. Porém, as seguintes vantagens podem justificar sua aplicabilidade:

- Melhoria do conforto térmico nas edificações, o que pode representar uma boa alternativa para regiões de temperaturas altas;
- A baixa massa unitária do agregado de EVA pode proporcionar alívio de carga na estrutura dos edifícios, o que pode representar economia de concreto e ferragens;
- Como já citado, a baixa massa unitária do agregado de EVA pode representar ganhos de produtividade no fechamento de painéis de paredes, considerando que poderão ser utilizados elementos com maiores dimensões.

2.2 Concreto Leve

Segundo Mehta (1994), os concretos são classificados de acordo com sua massa específica. Os chamados concretos normais ou correntes, de massa aproximada de 2400kg/m^3 , são geralmente utilizados em peças estruturais de construção civil. Para casos especiais como os que necessitam isolamento contra a radiação, são utilizados concretos com massas da ordem de 3200kg/m^3 que são chamados de concretos pesados. O termo concreto leve é usado para concretos cuja massa específica seja menor que 1800kg/m^3 .

O alívio na carga da estrutura e fundações, a redução no consumo de fôrmas, o aumento da produtividade e o bom isolamento térmico são algumas vantagens no uso do concreto leve. Porém, sua baixa resistência, o alto consumo de cimento e a grande absorção de água são limitações do concreto leve em relação ao concreto comum.

2.2.1 Classificação dos concretos leves

A baixa massa unitária dos concretos leve é obtida através de basicamente três categorias de processos de incorporação de ar em sua composição, são estes:

- Eliminando as partículas mais finas da granulometria do agregado, onde se obtém o chamado Concreto sem Finos;
- Substituindo o seixo ou pedra britada por um agregado oco, celular ou poroso, onde se obtém o chamado Concreto com Agregados Leves;

- Introduzindo grandes quantidades de vazios no interior da massa do concreto, onde se obtém o chamado Concreto Celular.

Como a massa específica do concreto está inter-relacionada com sua resistência à compressão. Costuma-se, segundo ACI 213R-87 (1994), classificar os concretos leves de acordo com a aplicação, em três categorias: concretos para fins estruturais, com resistência mínima de 17MPa e massa específica compreendida entre 1350kg/m³ e 1900kg/m³; concreto para fins não estruturais, principalmente para isolamento térmica, com massa específica compreendida entre 300kg/m³ e 800kg/m³; e entre essas duas categorias, os concretos com resistência moderada, com valores compreendidos entre 7MPa e 17MPa de resistência à compressão em cilindros, com características térmicas intermediárias entre os concretos de baixa massa específica e o estrutural.

Com relação à densidade, Cañas et al (1988) define os concretos leves para enchimento e isolamento térmico ou acústico aqueles com densidade compreendida entre 1,0kg/dm³ e 1,4kg/dm³. Como concretos leves estruturais, considera aqueles com densidade entre 1,4kg/dm³ e 1,8kg/dm³.

2.2.2 Concreto com agregados leves

Concreto com agregado leve é aquele aquele cuja baixa massa específica é alcançada através da utilização de agregados ocos, celulares ou porosos com massa específica entre 300kg/m³ e 1800kg/m³ e resistência à compressão entre 0,3MPa e 70MPa. (NEVILLE,1997)

Os agregados leves podem ser obtidos a partir da extração de materiais naturais de baixa massa específica ou produzidos a partir de processos industriais que utilizam insumos naturais ou subprodutos do próprio processo produtivo.

Os principais agregados naturais são a diatomita, a pedra pomes, a escória, as cinzas vulcânicas e os tufos. A utilização desses agregados remota até a antiga Roma: o Panteão e o Coliseu são exemplos que sobreviveram. Como são encontrados apenas em algumas partes do mundo, esses agregados têm seu uso limitado.

Os agregados leves produzidos a partir de materiais naturais são: argila, vermiculita, perlita e ardósia expandidas. São obtidos por meio de aquecimento adequado em forno rotativo até a fusão incipiente (temperaturas entre 1000°C e 1200°C), quando ocorre a expansão do material devido à expulsão de gases aprisionados na massa tornada plástica por meio do calor. A estrutura porosa se mantém com o resfriamento de modo que a massa específica aparente do material se torna muito menor do que antes do aquecimento.

Os principais sub-produtos industriais utilizados para a fabricação de agregados leves são a cinza volante e a escória de alto forno. A cinza volante bem fina é umedecida, pelotizada e sinterizada em forno apropriado: a pequena quantidade de combustível não queimado presente nas cinzas geralmente mantém esse processo sem a necessidade de mais combustível.

Existem, ainda, outros tipos de agregados leves produzidos a partir de sub-produtos industriais, tais como: agregados de “clínquer”, conhecido nos Estados Unidos como cinzas;

os agregados produzidos a partir do resíduo do carvão; e os agregados produzidos à base de lixo doméstico e do lodo de esgoto, misturados com argila e outros materiais pelotizados e calcinados em forno rotativo (NEVILLE, 1997).

O comportamento da água nos agregados leves na mistura dos concretos apresentam características importantes a serem consideradas. Com absorção entre 5% e 20% após 24hs, os agregados leves apresentam alta absorção sobretudo se comparadas à média de 2% de absorção dos agregados normais. Esta propriedade merece atenção na definição da relação água/aglomerante do concreto a ser produzido, sob pena de não haver água suficiente para a hidratação do cimento utilizado.

Na fase de cura do concreto, Neville (1997) destaca que a hidratação do cimento faz com que se reduza a quantidade de água disponível nos poros capilares da pasta de cimento endurecida. Assim, a água contida no interior do agregado leve migra para os poros capilares intensificando a hidratação do cimento, tornando o concreto menos sensível a uma cura inadequada. A essa propriedade dá-se o nome de “cura úmida interna”.

Outra característica benéfica gerada pela elevada absorção dos agregados leves é a boa aderência entre estes e a pasta hidratada de cimento. Essa boa aderência é promovida por três fatores:

- Devido a absorção do agregado: certa quantidade de pasta de cimento entra em seus poros formando uma espécie de intertravamento mecânico, melhorando, assim, a aderência agregado leve/pasta de cimento;

- Devido à diferença entre os módulos de elasticidade do agregado e da pasta de cimento ser bem menor que a encontrada em concretos normais, são geradas tensões diferenciais menores entre o agregado e a pasta de cimento, promovendo uma melhor aderência entre eles;
- E por fim, pela já anteriormente comentada “cura úmida interna”. Como a disponibilidade adicional de água, e consequente hidratação, promovida pela cura úmida, ocorre nas proximidades da zona de transição, torna-se mais forte a aderência entre o agregado e a matriz.

2.2.3 Características do concreto com agregado leve no estado fresco

Os concretos leves, por sua baixa massa específica, apresentam propriedades específicas de trabalhabilidade no estado fresco. No caso de agregados muito leves, uma mistura de grande abatimento pode resultar em partículas graúdas flutuando para a superfície da mistura. Para um mesmo abatimento o concreto leve apresenta uma melhor trabalhabilidade do que o concreto normal².

A capacidade de absorção de água na mistura fresca pelos agregados leves também tem grande influência na trabalhabilidade da mistura, sobretudo na velocidade de perda de abatimento do concreto. Dessa forma, independentemente do uso que se quer dar ao concreto,

² Neville explica que a parcela da força da gravidade atuante no concreto normal é maior do que a mesma ação no concreto leve. Assim é preciso considerar essa reação na interpretação do ensaio de abatimento do concreto leve.

é indispensável saber a capacidade de absorção de água do agregado para o controle das propriedades do concreto no estado fresco.

Uma forma de melhorar a trabalhabilidade dos concretos leves é através da incorporação de ar na massa do concreto. Teores de ar incorporado de 4% a 8%, para concretos que utilizam agregados com dimensão máxima até 20 mm, e de 5% a 9% para os que utilizam agregados com dimensão máxima até 10 mm, podem melhorar de maneira considerável a trabalhabilidade dos concretos leves, reduzindo a demanda de água, assim como, a tendência à segregação nestes. Teores de ar maiores que esses reduzem a resistência do concreto de cerca de 1 MPa para cada 1% de ar a mais, em relação ao volume total de concreto (ACI 213R-87, 1994). Outra forma de melhorar as condições de lançamento e adensamento é a substituição do agregado miúdo leve por agregado miúdo normal (MAYFIELD, 1990 apud NEVILLE, 1997). Esse procedimento, no entanto, aumenta a massa específica e a condutibilidade térmica do concreto dessa forma produzido.

2.3 Concreto leve com agregado de EVA

Podemos definir concreto leve com agregado de EVA os concretos com agregados produzidos a partir de resíduos provenientes da indústria de solados e palmilhas que utilizam o Ethylene Vinyl Acetate, ou Etileno Acetato de Vinila como matéria prima. O estudo desse tipo de aproveitamento surgiu em 1998 no estado do Rio Grande do Sul com o trabalho do Garlet (1998) em Porto Alegre.

Garlet (1998) estudou a capacidade de incorporação do agregado de EVA relacionando o volume total de agregados e o teor de aglomerante da mistura. Neste trabalho aponta-se massas unitárias entre 287kg/m³ a 1352kg/m³ com variações de taço entre 1:3 e 1:7 (cimento:agregados) em volume e variações 60% e 100% em volume de agregados EVA em substituição aos agregados naturais (areia e brita).

O concreto leve com agregado de EVA é um material com grande ductilidade, capaz de sofrer deformações acentuadas quando solicitado. Esse concreto apresenta módulo de deformação compreendido entre 60MPa e 2500MPa (GARLET, 1998).

A seguir são apresentadas algumas características do concreto leve com agregado de EVA (GARLET, 1998):

- A massa unitária e específica do compósito é inversamente proporcional à quantidade de agregado de EVA presente na mistura;
- Os métodos convencionais utilizados para medir a trabalhabilidade de concretos normais (“slump test” e “Graf”) não se adequam ao concreto leve de EVA, como já era de se esperar;
- Existe uma contribuição positiva do agregado de EVA na resistência à tração na flexão do concreto em estudo, apresentando um valor ótimo, voltando a cair com novo acréscimo deste agregado;
- O índice de vazios varia diretamente com a quantidade de agregado de EVA presente na mistura;
- Os baixos valores para o módulo de deformação indicam a grande ductilidade do material;

- A resistência à compressão diametral é inversamente proporcional ao consumo de cimento e ao teor de agregado de EVA na mistura, sendo o efeito do consumo de cimento mais significativo;
- Os resultados da resistência à compressão encontrados para o concreto leve de EVA somente possibilitam o seu emprego em funções não estruturais, tais como:
 - Isolamento térmico;
 - Enchimento em lajes e contrapisos;
 - Elementos pré-moldados não portantes (blocos e painéis de fechamento).

Garlet (1998) já apontava a potencialidade do uso do concreto EVA para elementos não estruturais, como forros e painéis de fechamentos. Porém, Bezerra (2002) e Polari Filho (2005) desenvolveram trabalhos complexos sobre este tema. Na tabela abaixo são apresentados os traços sugeridos por Bezerra (2002), para a fabricação de blocos de vedação.

O tratamento térmico realizado por Bezerra (2002) baseado em Garlet (1998) consiste em se imergir o agregado de EVA em água a 100°C por um período de 30 minutos. Esse tratamento provoca redução de quatro vezes no volume inicial, deixando o agregado mais denso, com melhorias importantes nas propriedades (resistência à compressão e absorção de água) dos blocos fabricados.

Tabela 2.1 – Traços sugeridos para fabricação de blocos de vedação.

Dmáx EVA (mm)	traço unitário (cim: areia: EVA, em volume)	fc28 dias (MPa)	absorção (%)
*6,3	1: 0,9 (30%): 2,1 (70%)	2,53	7,03
*9,5	1: 0,9 (30%): 2,1 (70%)	2,41	6,22
**9,5	1: 1,2 (40%): 1,8 (60%)	1,61	8,77

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

FONTE: BEZERRA (2002)

Outro estudo interessante a respeito do concreto leve com agregado de EVA foi realizado por CANAS (2001). Ele realizou uma análise comparativa técnico-econômica entre o concreto leve com argila expandida, com agregado de agregado de EVA, e com o concreto convencional. Para tanto, fixou a densidade de todos os concretos em 1,7kg/dm³ e analisou diversas propriedades, alcançando os resultados da Tabela 02.2.

Tabela 2.2 Resultados da análise técnico-econômica realizada com concreto convencional, e concretos leves com argila expandida e agregado de EVA.

Tipo de concreto	Material	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)	f _c 28 dias (MPa)
Brita convencional	Cimento	300 kg	0,25		
	Areia	0,51 m ³	14,26	121,90	1,82
	Brita	0,45 m ³	24,00		
	aditivo	3,6 l	8,00		
Agregado de EVA	Cimento	320 kg	0,25		
	Areia	0,63 m ³	14,26	186,50	5,76
	Brita	83,1 kg	0,93		
	aditivo	4,79 kg	4,22		
Argila expandida	Cimento	336 kg	0,25		
	Areia	0,57 m ³	14,26	266,40	18,72
	Brita	363,10 kg	0,48		
	aditivo	-	-		

FONTE: CAÑAS (1988)

Segundo Cañas (2001), o concreto com agregado de EVA apresentou, neste caso, custo por metro cúbico e comportamento (f_c 28 dias) superior ao do concreto convencional.

É importante destacar ainda que a composição de custos apresentada para o concreto com agregado EVA não apropria o custo do impacto ambiental deste resíduo³.

³ Os custos relativos ao manejo correto destes resíduos pela própria industria geradora devem ser deduzidos na composição de custos do aproveitamento dos mesmos como agregado artificial na construção civil.

2.4 Alvenaria

2.4.1 Componentes da alvenaria

A alvenaria é definida como um conjunto de unidades (blocos ou tijolos) dispostas em camadas e unidas entre por cola (geralmente argamassa) ou encaixes, formando um conjunto rígido (SABBATINI, 1984 apud CALÇADA, 1998).

Com ou sem função estrutural, as alvenarias devem ter o poder de proteger os moradores ou produtos. Esta proteção se refere às intempéries (chuva, sol, neve etc.), à efeitos externos sonoros até à ação de fogo em incêndios.

2.4.2 Blocos

Ramalho e Corrêa (2003) destacam os blocos de concreto, cerâmicos e os silicocalcáreos como os tipos de unidades mais utilizadas no mercado brasileiro. Quanto à aplicação, as unidades podem ser classificadas como estruturais ou não-estruturais, também chamados de blocos de vedação. Essa classificação é feita em função da resistência à compressão das unidades. Na Tabela 2.3 são apresentados os limites estipulados por norma para esses valores.

Tabela 2.3 – Valores admissíveis para à resistência à compressão das unidades em função da sua aplicação e material utilizado.

Aplicação	Material	Norma	Resistência mínima (MPa)	
			Média	Individual
Estrutural	Concreto	NBR 6136 (2007)	3,0 a 6,0 ⁴	*
	Cerâmica	NBR 15270-1 (2005)	4,5	*
Vedação	Concreto	NBR 6136 (2007)	2,0	2,0
	Cerâmica	NBR 15270-1 (2005)	1,0	*

* Valor não explicitado.

2.4.3 Blocos para alvenarias intertravadas

A elevação de paredes com blocos ou tijolos intertravados assentados a seco é a forma mais antiga de elevação de paredes para edificação de abrigos, habitações, templos etc. Construções deste tipo de alvenaria resistiram ao tempo, provando sua durabilidade e robustez em todos os continentes. (SALVADOR FILHO, 2007, p.92)

Entendem-se como alvenarias intertravadas aquelas cujo método de elevação das paredes é executado sem juntas de argamassa na maioria das unidades de alvenaria. e que possuem unidades que se unem através de encaixes mecânicos.

Existe na literatura e o setor da construção civil, diversos tipos de alvenarias intertravadas, com variações de tipos de materiais, dimensões, geometrias, formas de encaixes, etc. Esta diversidade indica que a pesquisa deste tipo de sistema construtivo não passa pelo estudo de cada sistema existente, mas pela compreensão dos problemas que estes sistemas se propõem a solucionar e de suas limitações, ou seja, pelo entendimento da lógica com que tais peças foram desenvolvidas.

⁴ Variando de acordo com a classificação de uso da norma.

Os Sistemas de alvenarias intertravadas oferecem a possibilidade de utilização de mão-de-obra sem treinamento, aumentar a produtividade na execução dos painéis e diminuir gastos e desperdícios com argamassa de assentamento. Porém, a argamassa utilizada nas alvenarias convencionais assume várias funções importantes, tais como selar as juntas e absorver esforços de flexão, uniformizar a distribuição dos esforços através da parede, propiciar estabilidade durante a elevação e compensar tolerâncias dimensionais do bloco⁵.

Segundo Marzahn (1997), o mecanismo de ruptura se altera devido à falta de material nas juntas, resultando num comportamento de contato progressivo entre as juntas secas. Comparado com os resultados de testes realizados com alvenaria assentada com argamassa, o comportamento das deformações das alvenarias assentadas a seco apresentou maiores deformações nos primeiros níveis de carregamento, comportamento denominado de “deformação inicial”.

Para combater as fragilidades causadas pela ausência da argamassa de assentamento, os sistemas de blocos intertravados geralmente possuem formatos especiais, com encaixes que permitam mais estabilidade do conjunto. Este tipo de alvenaria pode variar de acordo com sua finalidade, tipo de encaixe utilizado, material constituinte e com os serviços executados durante e após a elevação, e podem ser classificados de acordo com os quesitos apresentados no diagrama da Figura 2.4.

⁵ Vanderwerf (1999) destaca a dificuldade das máquinas convencionais para produzir blocos em série, de modo econômico e com menos que 1,5 mm de variação na altura. Diferenças dessa ordem de grandeza são suficientes para ocasionar desvios no assentamento, com aberturas nas juntas logo após a terceira ou quarta fiada

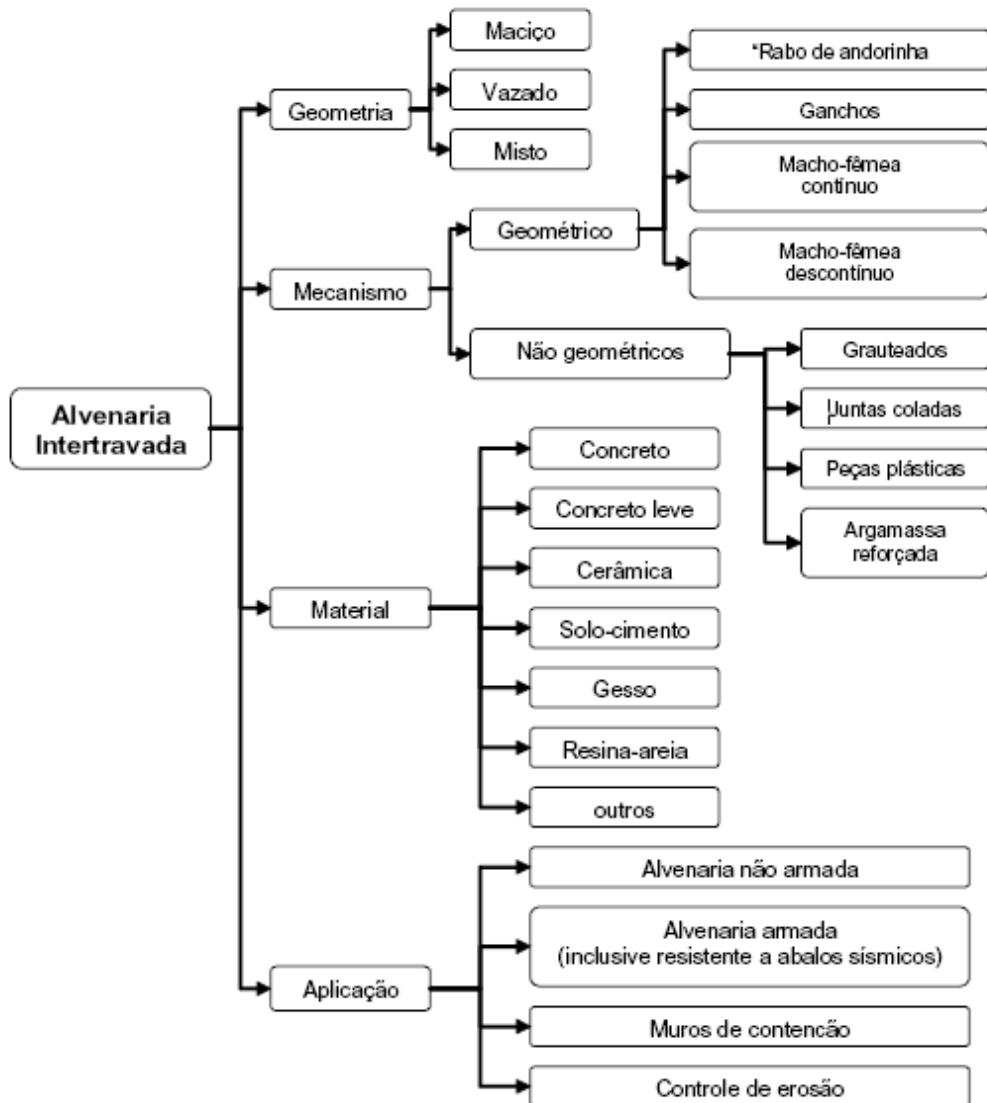


Figura 2.4 Classificação dos sistemas de alvenaria intertravada.

2.4.4 Argamassa de assentamento

Segundo a NBR 8798 (1985), argamassa de assentamento é o elemento utilizado na ligação entre as unidades da alvenaria, de forma a garantir uma distribuição uniforme de esforços, sendo composta de: aglomerante, agregado miúdo, água e cal ou outra adição destinada a conferir plasticidade e retenção de água de hidratação

“Argamassas são materiais de construção sem forma ou função definida constituídos de uma mistura de materiais inertes e aglomerantes que endurecem por um processo específico.” Salörzano (1994) apud Calçada (1998)

Prudêncio Jr (1994) apud Calçada (2003), cita como funções principais da argamassa de assentamento:

- Unir solidariamente as unidades de alvenaria (blocos, tijolos);
- Distribuir uniformemente as cargas atuantes por toda a área resistente das unidades;
- Resistir a esforços mecânicos, principalmente esforços laterais;
- Absorver as deformações naturais a que a parede está sujeita;
- Selar as juntas contra a penetração de ar e água.

Sabbatini (1998) destaca que para desempenhar as funções supracitadas as argamassas precisam apresentar as seguintes características:

- Ter trabalhabilidade (consistência, plasticidade e coesão) suficiente para que o pedreiro produza com rendimento otimizado um trabalho satisfatório, rápido e econômico;
- Ter capacidade de retenção de água suficiente para que uma elevada sucção do elemento (bloco) não prejudique suas funções primárias;
- Adquirir rapidamente alguma resistência após assentada para suportar os esforços que possam atuar durante a construção;

- Desenvolver resistência adequada para não comprometer a alvenaria da qual faz parte sem, no entanto, ser mais resistente do que os componentes que ela une;
- Ter adequada aderência aos componentes, a fim de que a interface possa resistir a esforços cisalhantes e de tração, e prover a alvenaria de juntas estanques à água da chuva;
- Ser durável e não afetar a durabilidade de outros materiais ou da construção como um todo;
- Ter suficiente resiliência (baixo módulo de deformação) de maneira a acomodar as deformações intrínsecas (retração na secagem e de ordem térmica) e as decorrentes de movimentações estruturais (de pequena amplitude) da parede de alvenaria, sem fissurar.

2.5 Resistência à compressão da alvenaria

2.5.1 Influência dos componentes na resistência à compressão da alvenaria

Como já comentado anteriormente, as alvenarias sofrem esforços de vários tipos para desempenhar seu papel na construção civil. Entretanto, Calçada (1998) destaca a resistência à compressão como principal foco de estudo para o desenvolvimento bem sucedido deste sistema.

Em ambiente de laboratório, é comum se determinar a resistência à compressão através de ensaios em painéis-protótipos construídos em escala real, em conjuntos de dois blocos unidos por argamassa ou encaixes (no caso de alvenarias intertravadas), os chamados primas ou até através de equações empíricas ou analíticas.

Como relatado no Item 2.4.1, a alvenaria é composta pelas unidades (blocos ou tijolos), com presença de ligação entre elas, seja argamassa de assentamento, cola ou encaixes mecânicos. Dessa forma, é conveniente entender a influência de cada um desses elementos sobre a resistência à compressão da alvenaria.

2.5.2 Blocos

Como principal elemento constituinte das alvenarias, os blocos exercem também papel importante na resistência à compressão destes sistemas. Segundo Ramalho e Corrêa (2003), a resistência do bloco é diretamente proporcional à resistência das alvenarias.

Entretanto, a ligação entre os blocos na alvenaria também influencia na resistência final dos painéis. Existe uma relação entre o funcionamento das uniões dos blocos e a resistência final da alvenaria. Este fenômeno, denominado na literatura como "eficiência das alvenarias", é dada pela relação entre a resistência da parede e a resistência da unidade que a compõe, conforme a equação 2.1.

$$E = \frac{fcPainel}{fcUnidade} \quad (2.1)$$

onde:

E: Eficiência do painel;

fc Painel: Resistência à compressão do painel aos 28 dias;

fcUnidade: Resistência da unidade utilizada na execução do painel, aos 28 dias.

A eficiência da alvenaria varia de acordo com a forma, material e resistência da unidade. Pode-se considerar que os blocos cerâmicos proporcionam uma eficiência menor à alvenaria do que os blocos de concreto. Considerando-se os casos mais comuns no Brasil, paredes executadas com blocos de concreto ou cerâmico (resistência entre 4,5 e 20 MPa), não grauteadas e com argamassas usuais, pode-se estimar que a eficiência apresenta os valores que constam na Tabela 2.4 (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

Tabela 2.4 – Valores da eficiência parede-bloco.

Bloco	Eficiência	
	Valor mínimo	Valor máximo
Concreto	0,40	0,60
Cerâmico	0,20	0,50

FONTE: RAMALHO e CORRÊA, 2003

2.5.3 Argamassa de assentamento

Embora esta pesquisa procure desenvolver pré-moldados intertravados que dispensem argamassa de assentamento, o estudo da relação argamassa-bloco suscita a compreensão da

importância deste elemento no sistema-alvenaria permitindo a adoção de medidas projetuais de intertravamentos entre blocos que permitam a retirada da ligação através de argamassa.

Dentre as características da argamassa de assentamento que influenciam na resistência da alvenaria, destacam-se a espessura da junta horizontal, a resistência à compressão da argamassa e a capacidade de aderência da mesma com o bloco.

A argamassa de assentamento tem a função de unir as peças do painel e também de absorver as diferenças dimensionais advindas do processo de fabricação dos blocos. Porém, a espessura desta argamassa, sobretudo a horizontal, precisa estar situada dentro de critérios técnicos sob pena de ocorrer diminuições acentuadas de resistência final da alvenaria.

Segundo Francis (1971) apud Ramalho e Corrêa (2003), na medida em que se aumenta a espessura da junta horizontal, a resistência da parede diminui. Isso pode ser explicado pela redução do efeito do confinamento da argamassa. É o confinamento que torna a argamassa menos suscetível a ruptura por compressão, mesmo que a sua resistência, obtida em corpos-de-prova cilíndricos, seja baixa.

Para Sahlin apud Ramalho e Corrêa (2003), a cada aumento de 0,3 cm na espessura da junta horizontal ocorre uma redução de 15% na resistência à compressão da alvenaria. A NBR 10837 especifica a adoção de juntas horizontais com 1,0 cm de espessura, a menos que se justifique a adoção de outro valor.

Entretanto, a resistência à compressão da argamassa de assentamento não é a característica mais importante para um bom desempenho da alvenaria como um todo. Gomes

(1983) apud Ramalho e Corrêa (2003) demonstra que em paredes construídas com blocos de 7,5 MPa, um aumento de 135% na resistência à compressão da argamassa de assentamento promoveu um acréscimo de apenas 11,5% na resistência à compressão da parede.

Gomes (1983) apud Ramalho e Corrêa (2003) destaca ainda que a resistência da argamassa de assentamento deve estar entre 70% e 100% da resistência do bloco. Embora a utilização de argamassas com resistência em torno de 50% da resistência do bloco não gere queda significativa na resistência da parede. Davison apud Sabbatini (1998) aponta: “Talvez por causa da confusão que se faz entre concreto e argamassa de assentamento, a importância da resistência à compressão desta tem sido muito enfatizada.”

Para entender-se melhor a relação mecânica entre argamassa e bloco durante a solicitação de esforços verticais, Calçada (1998) explica que nesta situação, a alvenaria, pelo efeito de Poisson deforma-se lateralmente. A argamassa, quando mais flexível que as unidades, tende a se expandir no sentido perpendicular à aplicação da carga. Dessa forma, a aderência entre o bloco e a argamassa tende a restringir essa deformação, surgindo, assim, tensões de compressão na argamassa. Nesse processo, para que seja mantido o equilíbrio de tensões, o bloco é então submetido a tensões de tração (Figura 2.5). Como a resistência à tração das unidades é geralmente pequena, a ruptura da alvenaria se dá geralmente na unidade, sob efeito biaxial de tensões (tração-compressão), caracterizado pela fissuração vertical do bloco, perpendicular às tensões de tração.

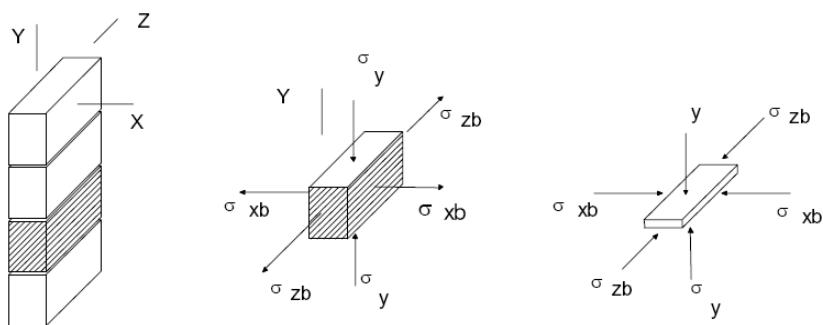


Figura 2.5 – Estado de tensões atuantes nos blocos e nas juntas de argamassa.
FONTE: RAMALHO e CORRÊA (2003).

Assim, fica claro que o comportamento estrutural da alvenaria está diretamente ligado à interação bloco/argamassa. A figura acima mostra ainda que este comportamento não está relacionado a resistência à compressão dos dois elementos, mas sim à capacidade de deformação de cada elemento.

Deve-se, portanto, entender que só surge “resistência” a essas movimentações, e consequentes tensões na argamassa e no bloco, se existirem diferenças significativas entre seus módulos de deformação. Diante disso, fica claro o porquê da recomendação da utilização de argamassa com resistência à compressão entre 70% e 100% da resistência do bloco. Vale ressaltar que, embora se faça essa recomendação, em termos de resistência à compressão desses elementos, o mais correto seria especificar a argamassa em função do módulo de deformação do bloco utilizado.

2.6 Relação água/aglomerante em compósitos cimentícios

Segundo a Lei de Abrams, a resistência à compressão dos compósitos à base de cimento Portland é inversamente proporcional à relação água/aglomerante. Isto porque a resistência à compressão dos concretos está intimamente ligada a dois fatores relacionados à água: ao grau de hidratação do cimento Portland e o grau de adensamento alcançado durante a produção do concreto.

Obviamente a qualidade dos insumos, o processo de cura dentre outros fatores exercem influência na resistência dos concretos. Porém, a figura a seguir ilustra o comportamento da resistência à compressão em função da variação da relação água/aglomerante. Nota-se que a linha cheia no gráfico aponta o decréscimo da resistência à compressão em função do aumento da relação água/cimento.

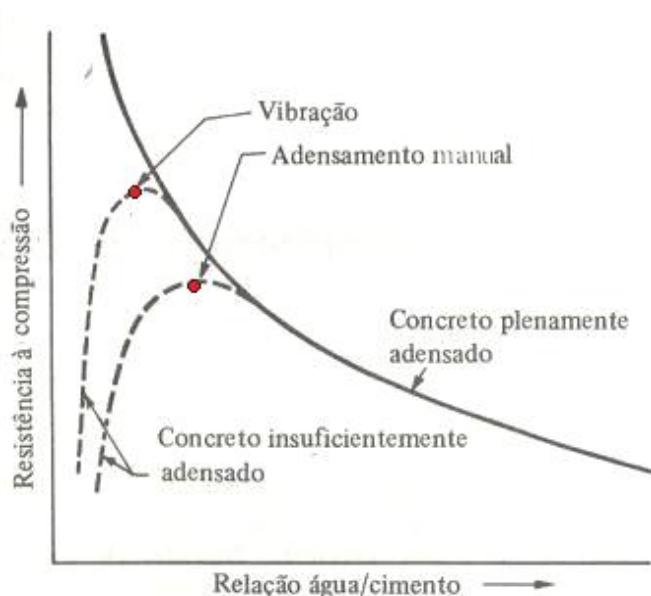


Figura 2.6 – Resistência à compressão x relação água/aglomerante.
FONTE: NEVILLE, 1998

É importante ainda perceber que as linhas pontilhadas apontam para mecanismos de adensamento comumente utilizados nos processos de produção de concretos. Como estes processos não atingem níveis de adensamento desejáveis para o concreto (como o caso da produção de blocos de concreto), as baixas relações água/cimento apresentam também baixas resistências à compressão.

Para estes casos, é preciso aumentar a quantidade de água a fim de se buscar a relação ótima de água para o compósito e a forma de adensamento que se quer trabalhar. Este ponto ótimo está representado na figura 2.6 pelos pontos marcados nas linhas pontilhadas no gráfico.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Generalidades

O resíduo utilizado nesta pesquisa é parte do processo de fabricação de solados e palmilhas para calçados. A maioria das indústrias do setor utilizam o método de cortes múltiplos por moldes em mantas de EVA, que resultam em sobras na ordem de 30% da peça. Por apresentar baixa massa específica e grande volume, as indústrias geralmente trituram este material antes de dar destino final a esses resíduos, muitas vezes aterros ou fornos.

Para este trabalho, o resíduo utilizado foi coletado diretamente do galpão de uma das indústrias geradoras da maneira que é produzido, ou seja, sem Trituração. Para aumentar o controle sobre o material, as mantas cortadas foram trituradas (granulometria pré-definida ($D_{máx}=9,5\text{mm}$)) e estocadas Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas da Universidade Federal da Paraíba (LABEME - UFPB).

O agregado artificial de EVA, assim denominado, foi caracterizado fisicamente através dos ensaios de granulometria, massa unitária em estado solto.

Através de dados da literatura (POLARI FILHO, 2005 e PIMENTEL, 2005), selecionou-se três compósitos específicos, aqui denominadas: C1, C2 e C3. Fundamentou-se, para essa escolha, na variação de resistência à compressão dos blocos, com eles produzidos, de “pequena”, “média” e “alta”.

Para o preparo da mistura (compósito) C1, utilizou-se o traço 1:5 (cimento : agregados, em volume) e um teor de 80 % de agregado artificial leve de EVA em substituição ao agregado natural (areia). Para a mistura C2, adotou-se o mesmo traço em volume, porém aumentou-se o teor de incorporação do agregado leve de EVA para 90% e, de maneira análoga, para 100% na mistura C3. Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Compósitos utilizados na pesquisa.

Compósito	Traço (cimento: agregados, em volume)	EVA (Dmáx = 9,5 mm)	Agregado natural (areia)	Resistência
C1		80 %	20%	“Alta”
C2	1:5	90%	10%	“Média”
C3		100%	0%	“Baixa”

Toda a metodologia foi resumida em um quadro esquemático, conforme a Figura 3.1.

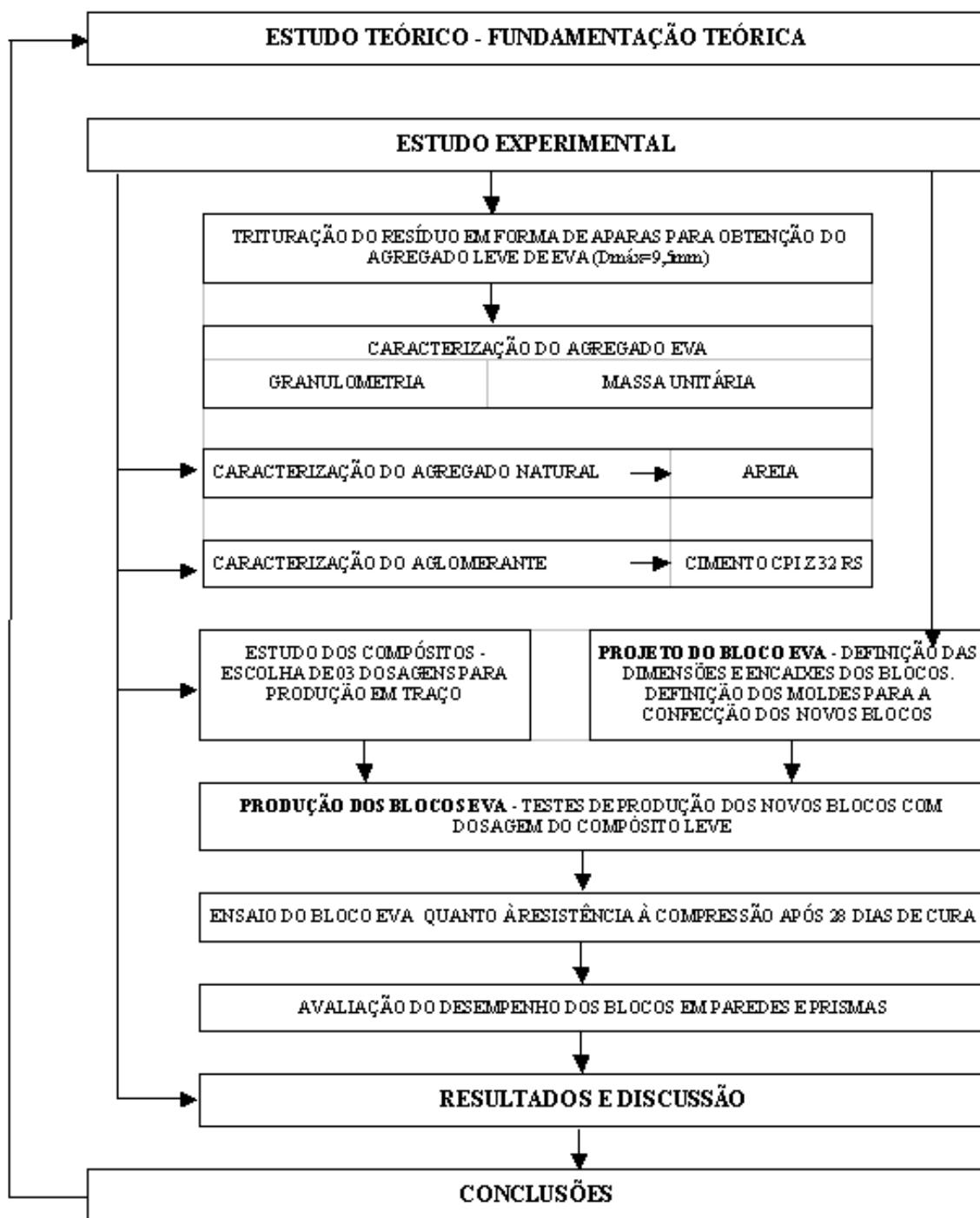


Figura 3.1 - Quadro esquemático da metodologia adotada

3.2 Bloco EVA -novas dimensões e encaixes

O desenvolvimento desta pesquisa foi direcionado para o projeto de um bloco produzido com concreto EVA com dimensões e mecanismos de encaixe coerentes com as propriedades do material em estudo. Além disto, a peça criada precisava atender a padrões arquitetônicos mínimos dos ambientes, levando-se em conta a dimensão e altura dos componentes da construção, tais como: portas, janelas e pé direito.

Após serem definidos os encaixes entre os elementos, no estudo dimensional do pré-moldado, foram elaboradas as formas (moldes) para produção dos mesmos, utilizando máquina do tipo vibro-prensa. No processo de moldagem os blocos foram confeccionados e avaliados em função da facilidade no processo de desforma.

Os ensaios de resistência à compressão para avaliar o desempenho dos blocos EVA individualmente, de prismas (conjunto de dois blocos superpostos) e das paredes foram executados, tendo como comparação os estudos realizados anteriormente¹.

¹ Polari Filho (2005) e Pimentel (2005) trabalharam blocos de EVA com dimensões convencionais e não-convencionais respectivamente, com variações de teor de cimento e agregados e análise de resistência à compressão em blocos e painéis.

3.2.1 Projeto do Bloco EVA

O projeto do bloco EVA foi definido a partir de estudo de um repertório de peças e blocos pré-moldados consagrados. Foram analisados para isso questões como:

- Dimensões das peças em relação a seu peso próprio;
- Tipo e formato dos encaixes;
- Forma de produção dos blocos (moldagem e desmoldagem);
- Forma de instalação da peça no canteiro de obra;
- Relação entre as dimensões, massa e encaixes com o projeto arquitetônico (possibilidades de modulação);
- Transporte dos pré-moldados para o canteiro de obra ;

Inicialmente, no estudo de encaixes (Figura 3.2) buscou-se construir um repertório que auxiliou na escolha implementada no bloco EVA. Assim, definiu-se que haveriam saliências a serem apresentadas nas peças.

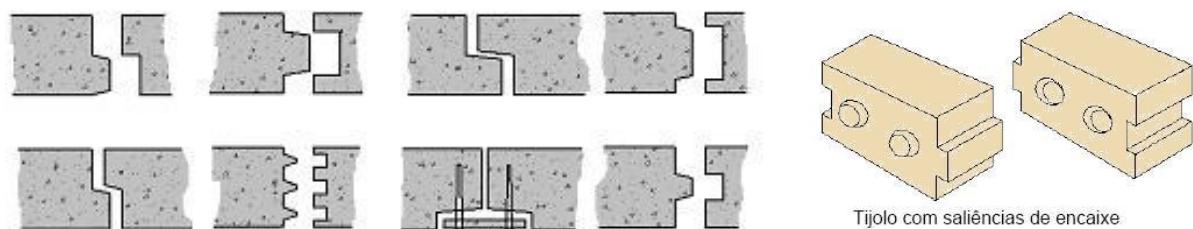
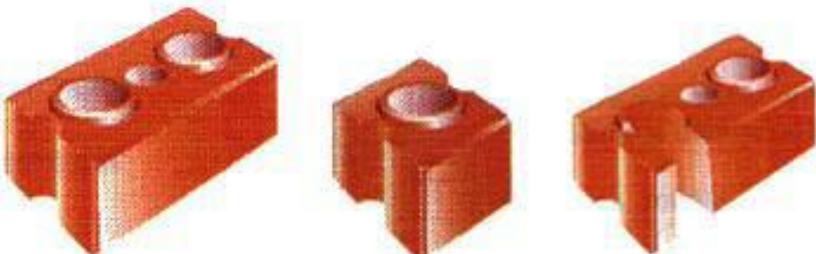


Figura 3.2- Estudo de encaixes em pré-moldados diversos

No caso do bloco TIJOLITO de solo-cimento (o tipo padrão mede 11cm x 10cm x 22cm – Figura 3.3) que é fabricado em prensa hidráulica procurou-se observar a forma de encaixe e as dimensões. Nesse bloco, cada peça possui furos circulares verticais e encaixes do

tipo macho e fêmea, os quais permitem o travamento horizontal da alvenaria, dispensando o uso argamassa no assentamento.



BLOCO TIJOLITO

Figura 3.3 - Bloco tijolito em solo-cimento. Fonte: Revista On Line Ambiente Brasil, Janeiro 2007.

O bloco ISOPET (Figura 3.4) é um tipo de bloco em que há aproveitamento de garrafas vazias de refrigerantes (PET) no seu interior, sendo os blocos produzidos com dimensões de 40x40x15cm, pesando em média 12 kg ou com dimensões 40x20x15cm, pesando em média 6kg.



BLOCOS ISOPET

Figura 3.4 - Bloco Isopet, CEFET-MG, março 2007.

Na produção gráfica do bloco EVA as formas de encaixe e os exemplares catalogados mostraram que o tipo de encaixe macho-fêmea se destaca como a forma mais versátil, possibilitando uma variação na forma desses encaixes.

A seguir serão apresentados alguns exemplos de blocos intertravados. A escolha se deu por aspectos como comportamento mecânico e velocidade na construção de painéis.

Entretanto, cada sistema possui propriedades e finalidades específicas. Tais características, intrínsecas a cada sistema, impedem uma avaliação global deste tipo de alvenaria.

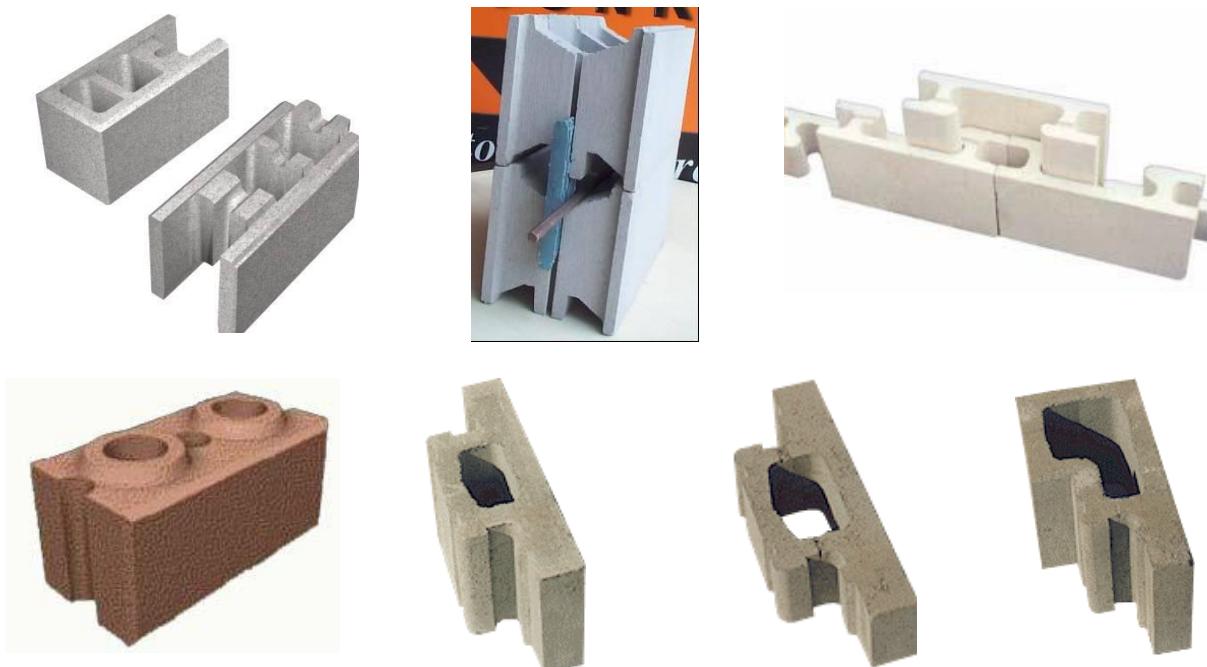


Figura 3.5 - Repertório de blocos estudados durante o projeto do bloco EVA
FONTE: (SALVADOR FILHO, 2007)

Optou-se assim pela geometria de saliência e encaixe do tipo tronco de pirâmide para o estudo do bloco EVA, pois a forma de encaixe com base quadrada reforçaria o trabalho a ser desempenhado pelo encaixe, na possível posição de impedimento ao giro que a peça poderia fazer (ver Figura 3.6).

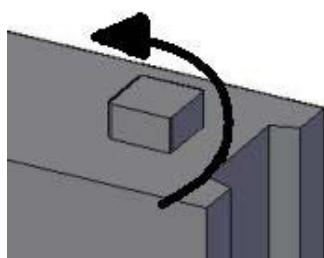


Figura 3.6 - Travamento de giro no encaixe do tipo tronco de pirâmide

Sobre as dimensões dos blocos EVA, foram trabalhadas duas frentes de atuação no projeto do bloco EVA. A primeira relacionava-se à fatores horizontais de projeto, que são: vãos adequados de cômodos, larguras de portas e janelas padrão e coisas do gênero. A segunda frente, relacionada à fatores verticais, seriam aqueles que tratam das alturas na edificação, como peitoris de janela alta e baixa, alturas mínimas de pé direito, cumeeiras de telhado e altura de portas com ou sem ventilação superior, geralmente denominadas de "bandeiras". As figuras a seguir ilustram bem de que forma procurou-se respeitar as alturas dos elementos supracitados na concepção do bloco EVA.

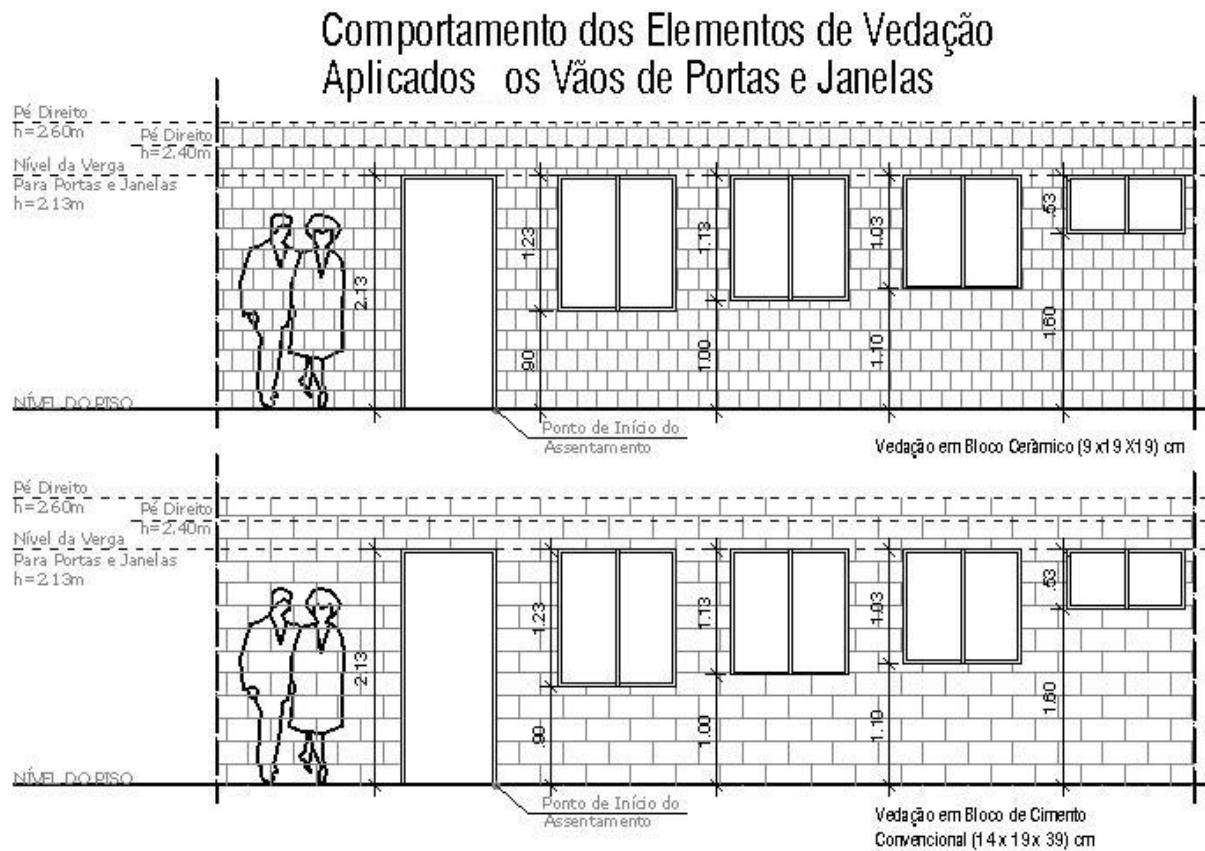


Figura 3.7 - Comportamento das vedações tradicionais ao fechamento dos vãos

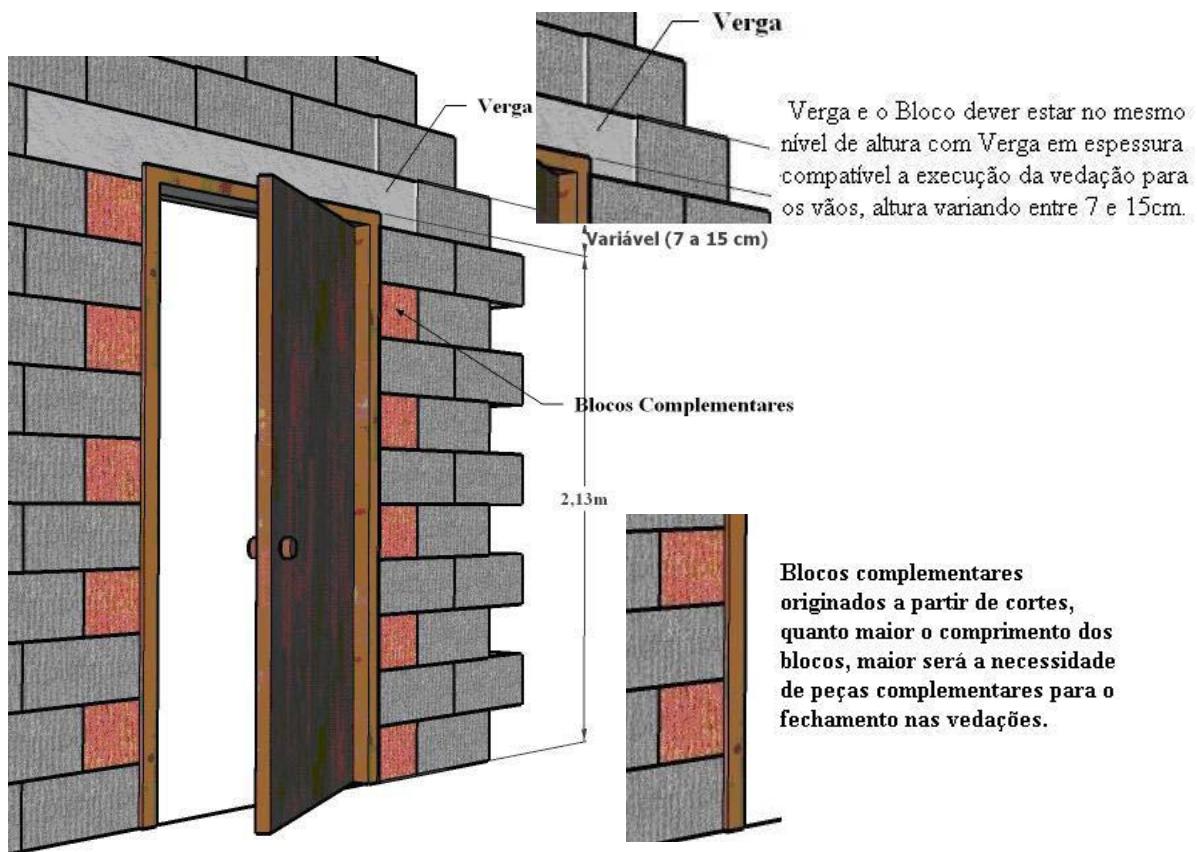


Figura 3.8 - Relação entre a altura das portas e a altura dos blocos de vedação.

Outro fator atrelado às dimensões do bloco de vedação é a relação entre a massa e o tamanho final da peça. Os blocos com dimensões maiores na vertical exigiriam comprimentos maiores pela necessidade mecânica de equilíbrio, e dimensões maiores resultariam numa massa maior para o bloco. Assim, ao se prever vazios no bloco com o uso de moldes tipo “picolé” (Figura 3.9) foi possível reduzir a massa e aumentar as dimensões do elemento, para se chegar a uma solução adequada.

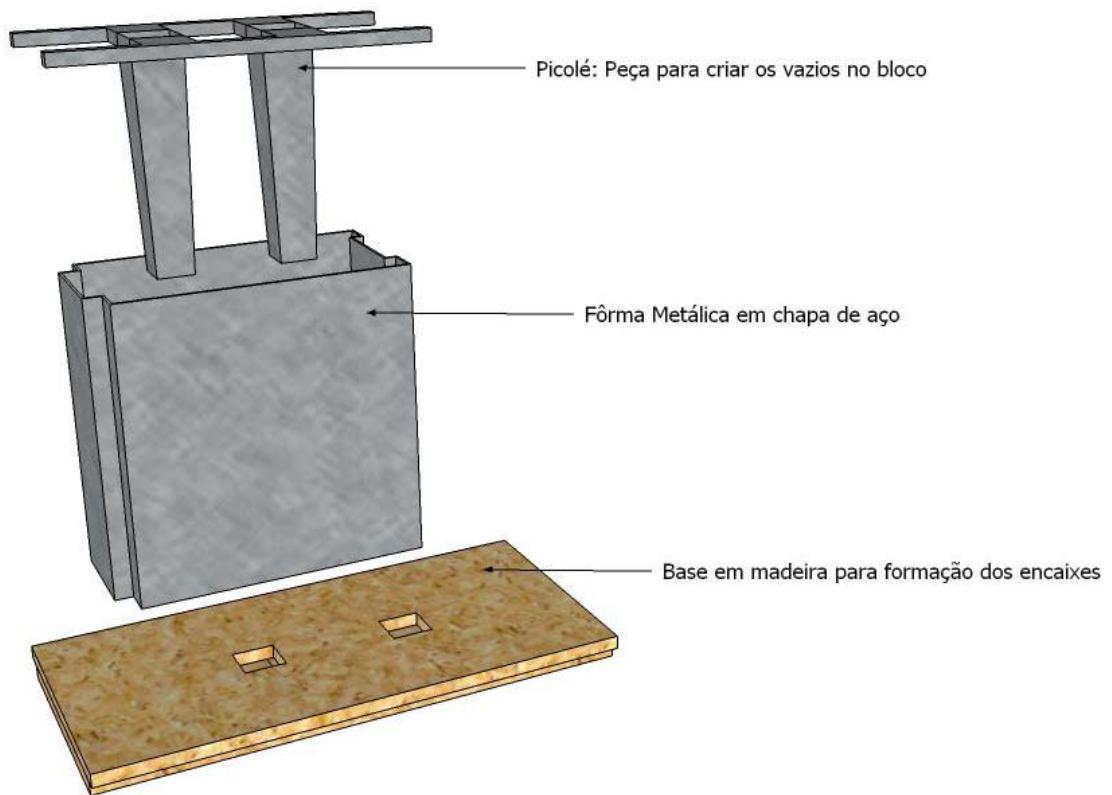


Figura 3.9 - Fôrmas a serem confeccionadas para a produção dos blocos EVA

A forma de encaixe da saliência na parte superior em tronco de pirâmide, com dimensões de 3,5cm x 3,5 cm, e o vazio na parte interior de 4,5 x 4,5 cm, definiram a geometria do bloco e as dimensões adotadas, considerando a necessária folga entre os encaixes para facilitar o processo de assentamento das peças na execução da parede.

Para dispensar peças complementares especiais para a construção das alvenarias, a adoção da espessura como metade do comprimento do bloco EVA permitiu que as amarrações entre painéis acontecessem apenas com a utilização de um "meio-bloco" produzido a partir do corte ao meio na peça inteira, corte este facilitado pela propriedade de ductilidade do concreto EVA, demonstrado na figura 3.10.

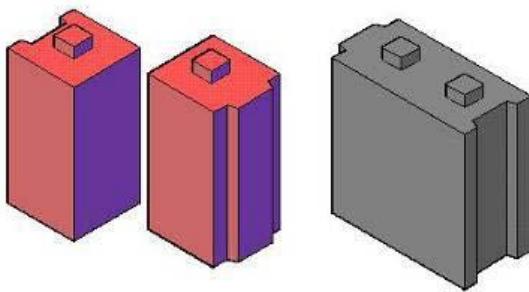


FIGURA 3.10 - Bloco EVA e a possibilidade de corte ao meio, gerando os blocos complementares

Outra condição importante para a definição geométrica do bloco foi a largura padrão das alvenarias, que geralmente possuem cerca de 15 cm. Assim, considerou-se que esse tipo de bloco poderia dispensar a necessidade da camada de chapisco, pois seria possível produzi-lo com rugosidade característica que certamente garantiria a aderência necessária ao revestimento.

Como toda alvenaria racionalizada ou planejada, alguns cuidados precisam ser adotados na execução dos painéis. Para as amarrações tipo “T” ou tipo 90°, por exemplo, os blocos devem respeitar a posição dos encaixes machofêmea, obedecendo à modulação múltipla de 12,5cm (largura definida para o bloco EVA), para formação dos ambientes. Assim, ao iniciar o assentamento a 90°, deve-se obedecer a seqüência, da esquerda para a direita, conforme se indica na Figura 3.11:

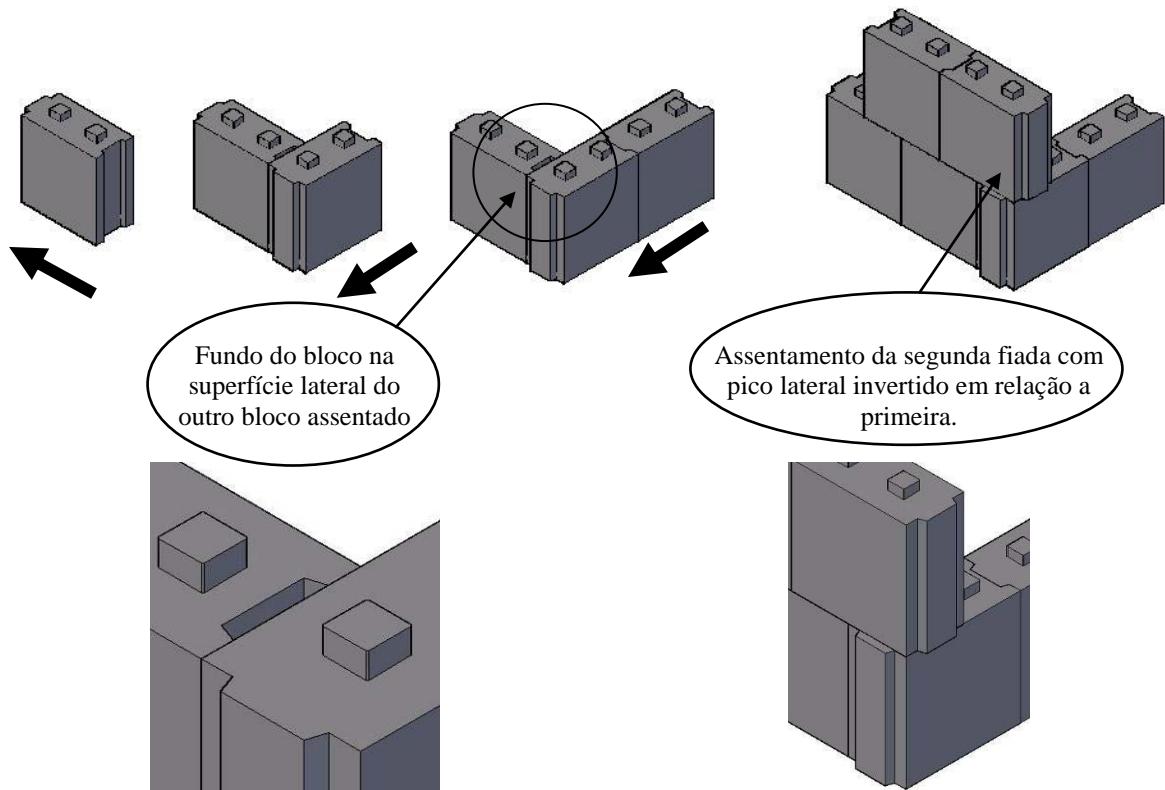


Figura 3.11 - Seqüência indicada para o assentamento dos blocos EVA

Finalmente, o projeto final foi resultado da evolução de desenhos até se definir o comprimento, a altura, a largura e os encaixes nas duas dimensões, ocorrendo no topo e lateral do bloco.

As figuras a seguir mostram o projeto em detalhes do bloco EVA assim como seu comportamento na aplicação em um projeto real de habitação de interesse social da Prefeitura do município de João Pessoa-PB. Como o bloco EVA possui encaixes verticais e horizontais de travamento, é interessante perceber que o projeto arquitetônico precisa obrigatoriamente se adaptar a modulação das alvenarias, sob pena de perder-se a amarração dos painéis e o funcionamento de todo edifício.

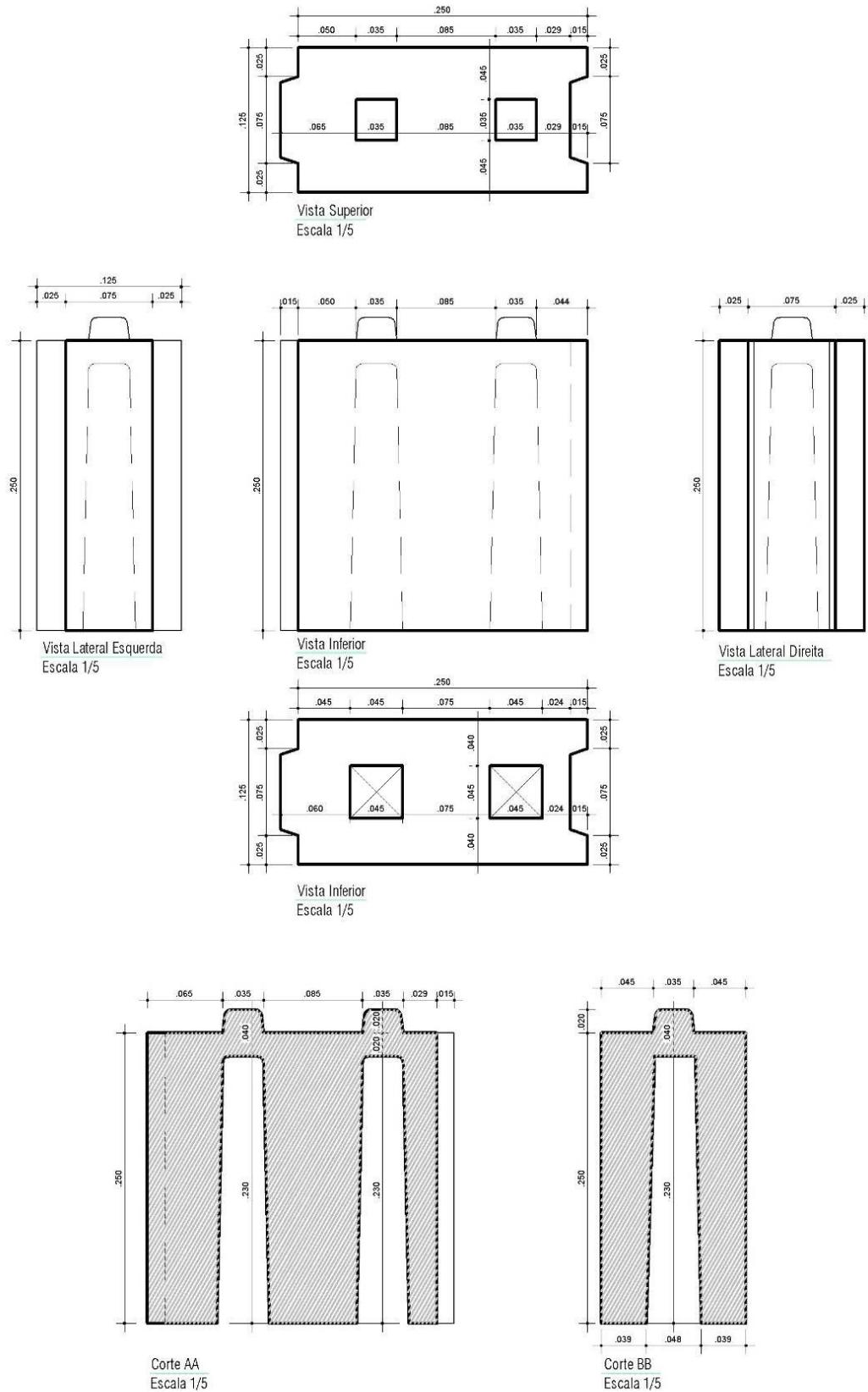


Figura 3.12 - Projeto do bloco EVA

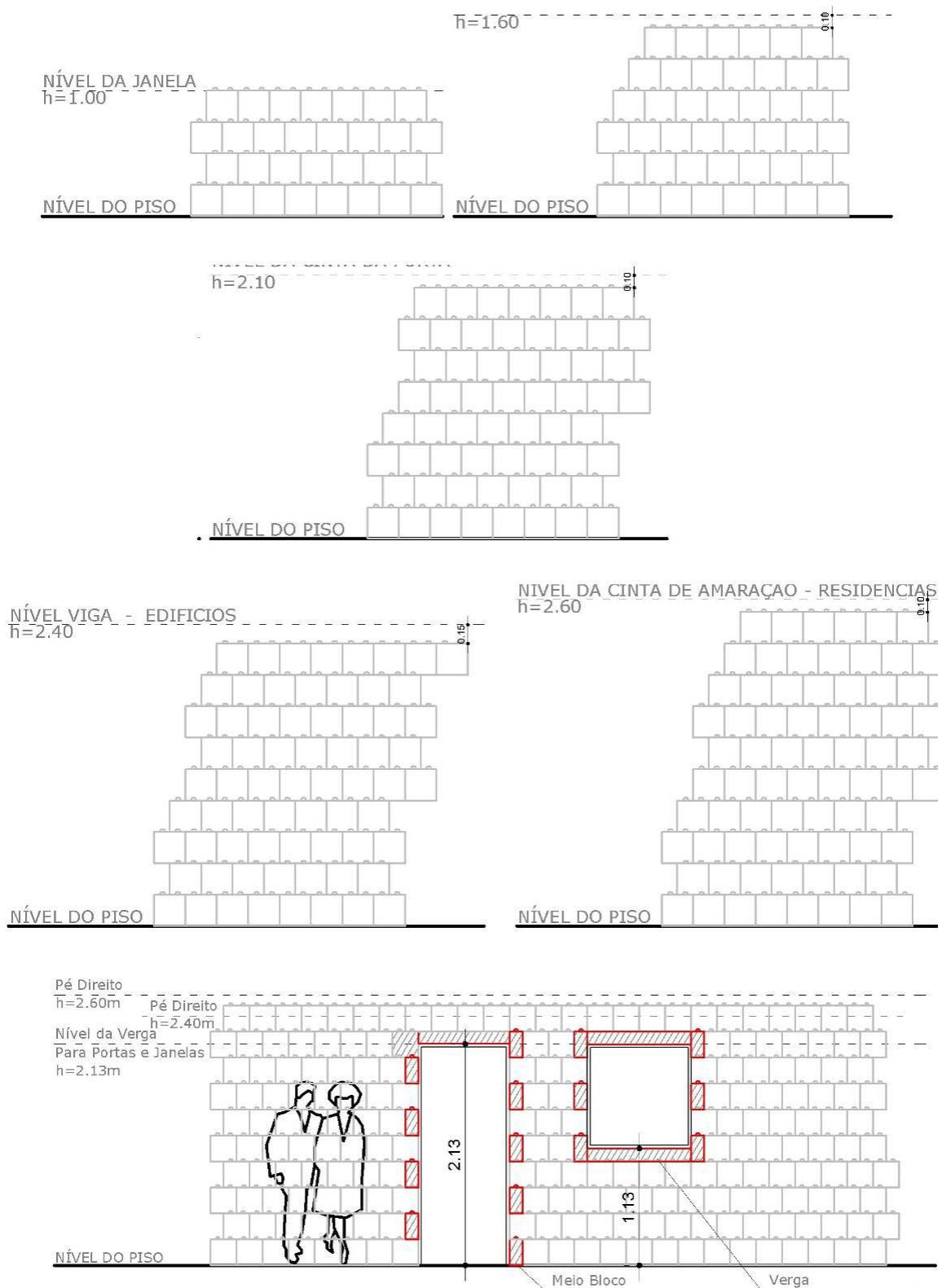
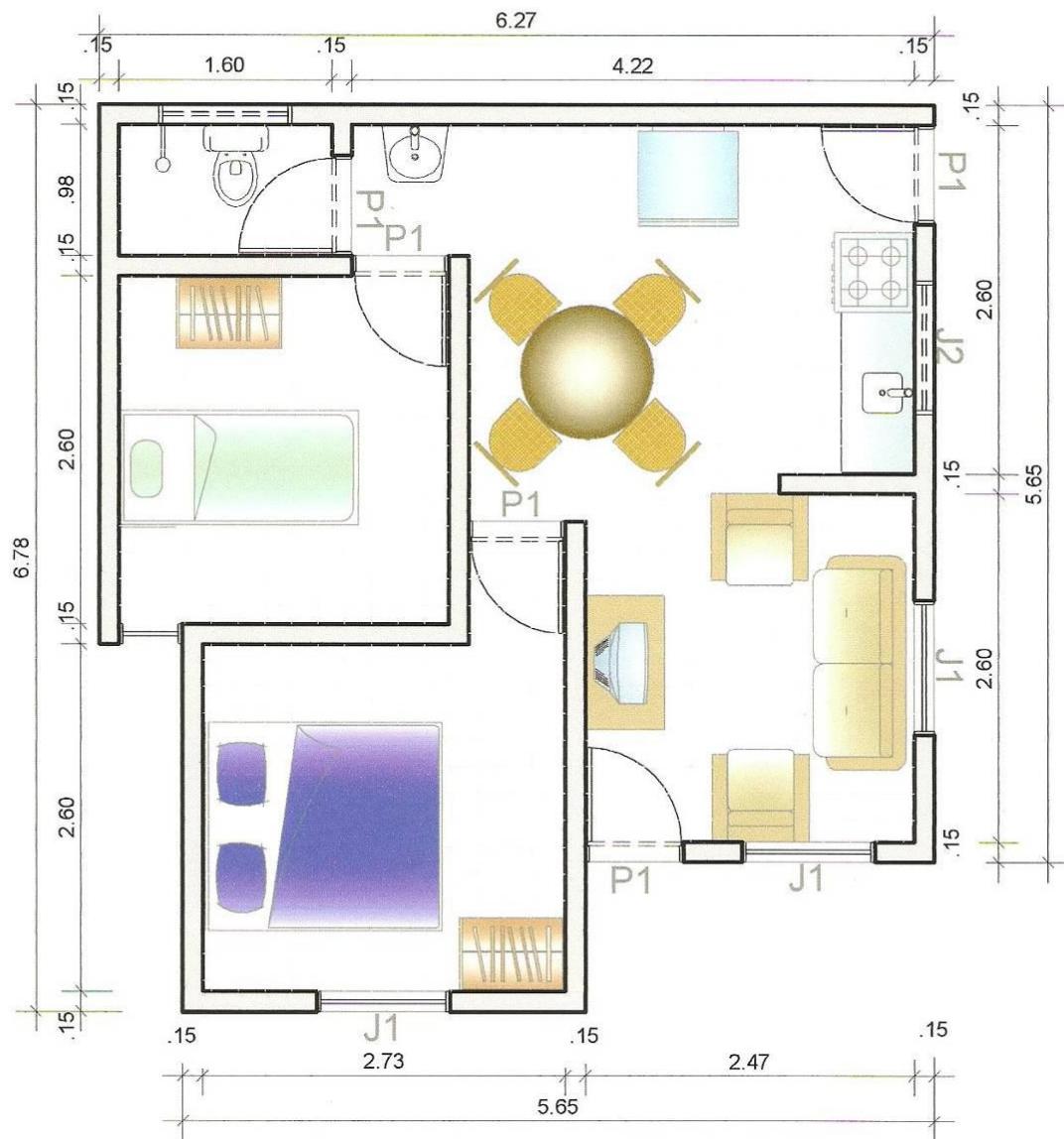


Figura 3.13 - Elevações de painéis com relação entre alturas da edificação.



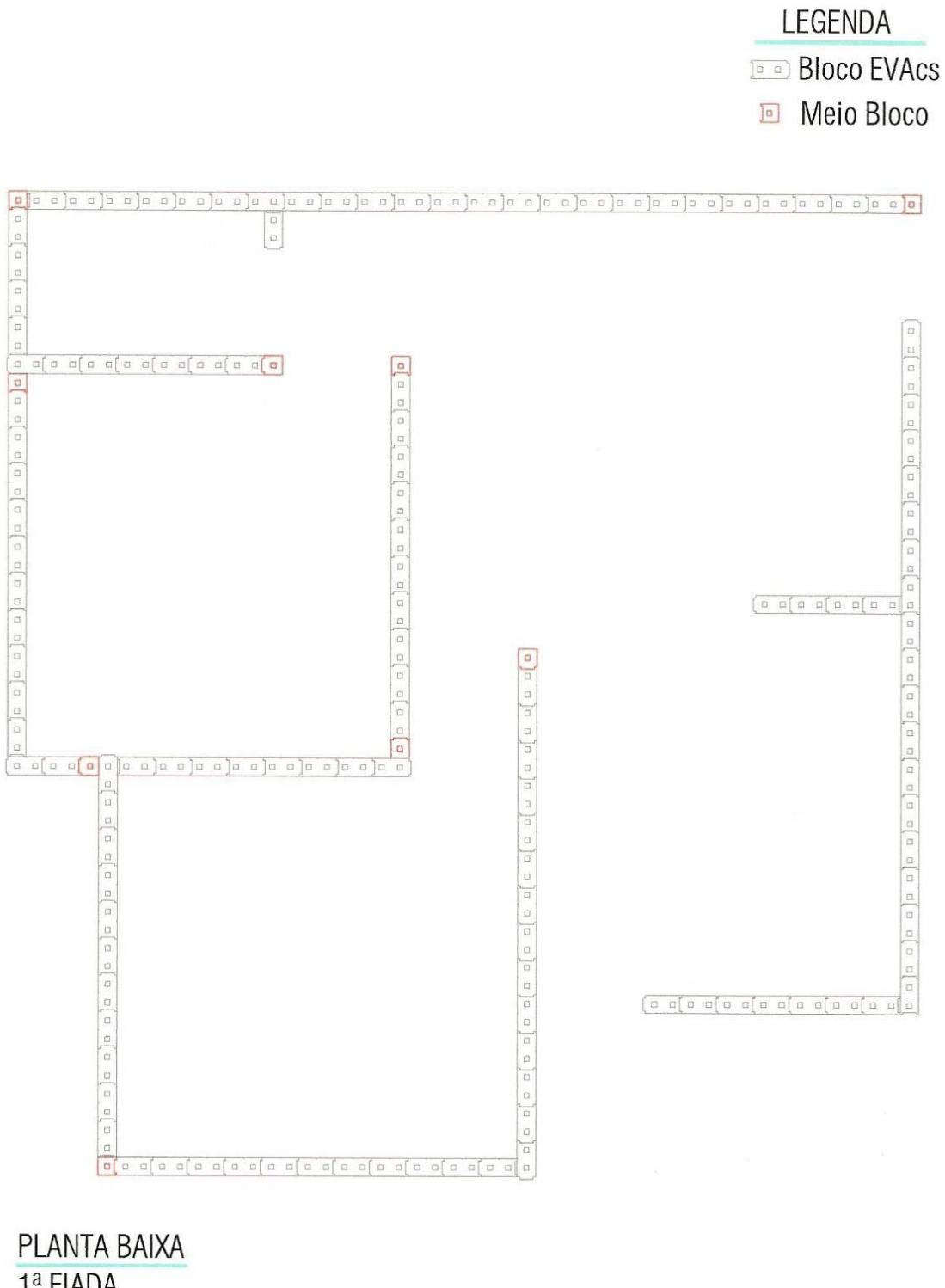
PLANTA BAIXA

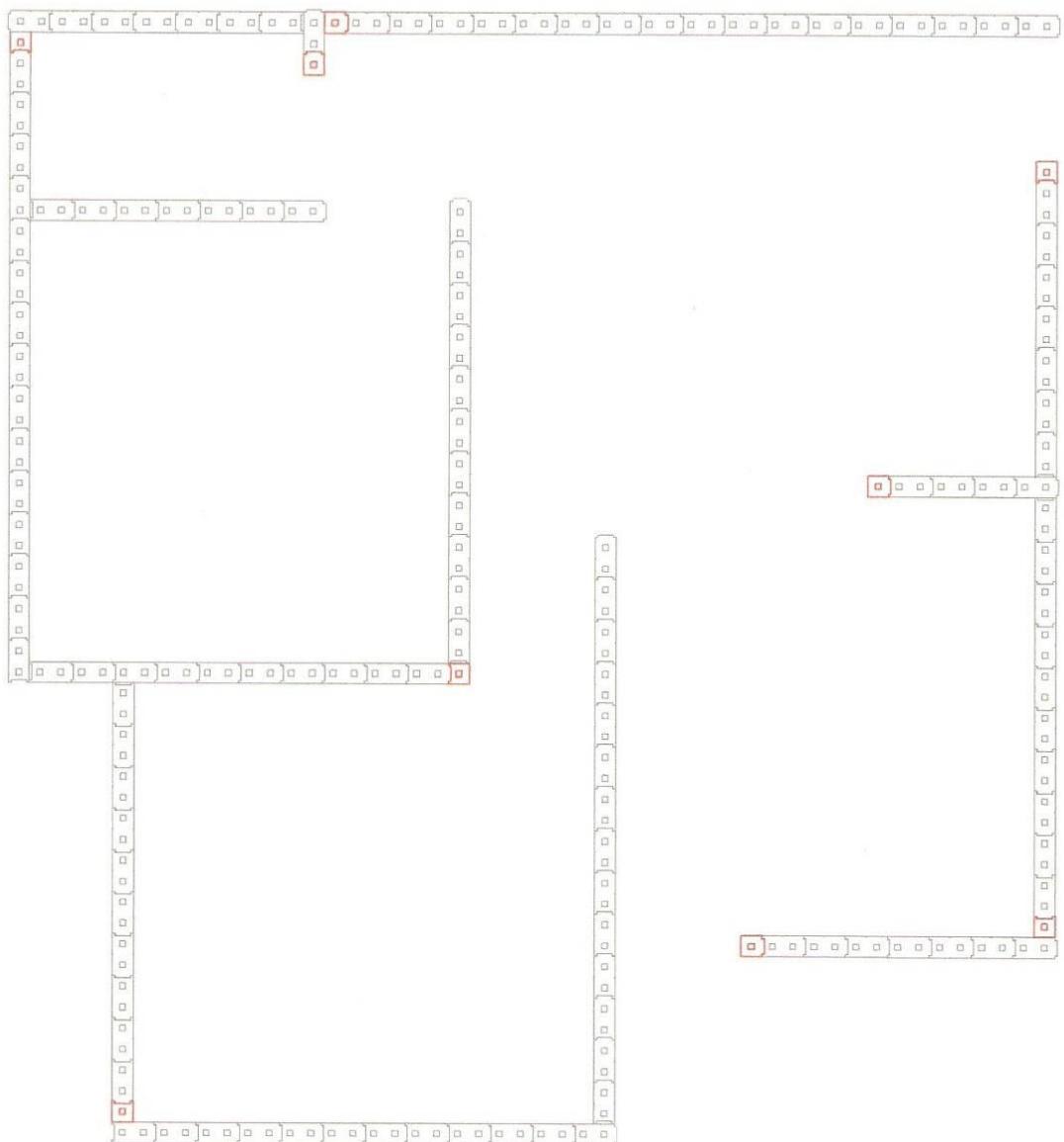
Habitação de Interesse Social da PMJP

Escala

1/50

Figura 3.14 - Planta baixa de habitação de interesse social da PMJP

Figura 3.15 - Planta baixa de 1^a Fiada



PLANTA BAIXA

2^a FIADA

Figura 3.16 - Planta baixa de 2^a Fiada

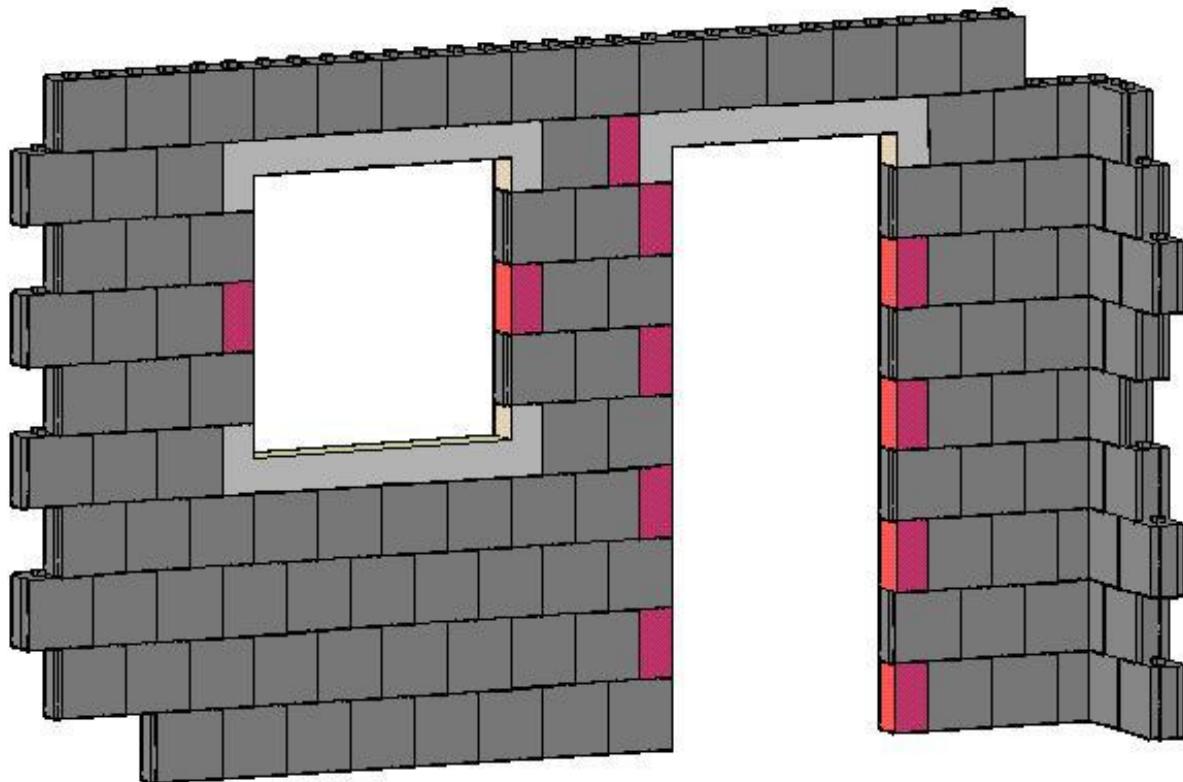


Figura 3.17 - Comportamento do bloco EVA em portas e janelas

3.3 Caracterização dos Materiais

3.3.1 Agregado miúdo (agregado natural)

A areia quartzosa utilizada na pesquisa foi extraída de uma região em João Pessoa chamada de “Caxitú”. Esta areia tem uso corrente nas obras de concreto da região.

3.3.1.1 Ensaios realizados

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

Tabela 3.2 – Ensaios de caracterização da areia e suas respectivas normas.

Determinação da massa específica NBR 9776

Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios NBR NM 45

Determinação da composição granulométrica NBR NM 248

3.3.2 Agregado de EVA (agregado artificial)

O resíduo da produção de solados e palmilhas, retalhos e refugos de placas de EVA foram triturados em um moinho granulador no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas da Universidade Federal da Paraíba (LABEME - UFPB). Utilizou-se uma peneira de malha circular com dez milímetros de diâmetro, colocada na saída do moinho granulador (Figura 3.18), obtendo-se, dessa forma, o agregado artificial de E.V.A. na granulometria pré-definida ($D_{máx} = 9,5\text{mm}$).



Figura 3.18– Detalhes de moinho triturador, retalhos das placas, peneira e agregado artificial de EVA.

Segundo Garlet, 1998 e Bezerra, 2002, o agregado de E.V.A. ($D_{máx} = 9,5\text{mm}$) apresenta melhor desempenho mecânico, associado a baixos custos de produtividade e beneficiamento, quando comparados com os demais estudados. Por isso optou-se pela utilização desse tipo de agregado neste trabalho.

3.3.2.1 Ensaios realizados

O agregado de EVA foi submetido aos ensaios de caracterização especificados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Ensaios de caracterização do agregado de EVA (agregado artificial) e as respectivas normas técnicas.

Determinação da massa unitária – estado solto	Mesmo procedimento aplicado ao cascalho (NBR NM 45)
Determinação da composição granulométrica	Mesmo procedimento aplicado aos agregados naturais (NBR NM 248)

3.3.3 Cimento

Foi utilizado durante toda a pesquisa o cimento tipo CPII Z-32 RS da marca POTY, por ser um aglomerante facilmente encontrado na região. As suas principais características físicas e químicas estão apresentadas nas Tabelas 3.4 e 3.5, fornecidas pelo fabricante. Mostra-se, também, nessas tabelas, os limites admitidos por normas.

Tabela 3.4 – Características físicas do cimento.

Ensaios Físicos	Norma ABNT	Especificações	Resultados
Finura Malha nº 200 (%)	NBR 11579/91	$\leq 12,0$	1,9
Massa Específica (g/cm ³)	NBR NM 23/01	-	-
Massa Unitária (g/cm ³)		-	*1,195
Área Esp.(Blaine) (cm ² /g)	NBR NM 76/98	≥ 2600	3438
Início de Pega (h:min)	NBR 11581/91	$\geq 1:00$	2:38
Fim de Pega (h:min)	NBR 11581/91	$\leq 10:00$	3:42
Expansibilidade à quente	NBR 11582/91	$\leq 5,0$	0,35
Resistência 1dia (MPa)	NBR 7215/96	nd	-
Resistência 3dias (MPa)	NBR 7215/96	≥ 10	25,8
Resistência 7dias (MPa)	NBR 7215/96	≥ 20	31,6
Resistência 28dias (MPa)	NBR 7215/96	≥ 32	38,2

FONTE: Cemento POTY S/A – Unidade Caaporã.

* Realizado no laboratório da UFPB.

Tabela 3.5 – Composição química do cimento.

Ensaios Químicos	Norma ABNT	Especificações	Resultados
Perda ao Fogo (%)	NBR 5743/89	$\leq 6,5$	4,69
Dióxido de Silício – SiO ₂ (%)	NBR 9203/85	-	-
Óxido de Alumínio – Al ₂ O ₃ (%)	NBR 9203/85	-	-
Óxido de Ferro – Fe ₂ O ₃ (%)	NBR 9203/85	-	-
Óxido de Cálcio – CaO (%)	NBR 9203/85	-	-
Óxido de Magnésio – MgO (%)	NBR 9203/85	$\leq 6,5$	2,71
Anidrido Sulfúrico – SO ₃ (%)	NBR 5745/89	$\leq 4,0$	2,85
Anidrido Carbônico – CO ₂ (%)	NBR 11583/90	$\leq 5,0$	-
Óxido de Cálcio Livre - CaO Livre	NBR 7227/90	-	1,00
Resíduo Insolúvel (%)	NBR 5744/89	$\leq 16,0$	6,89

FONTE: Cemento POTY S/A – Unidade Caaporã

3.3.4 Água de amassamento

A água utilizada nesta pesquisa foi fornecida pelo sistema de abastecimento de água da UFPB (Universidade Federal da Paraíba), proveniente de duas fontes, a CAGEPA (Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba) e poços artesianos situados no próprio CAMPUS I, apresentando características semelhantes às da agua utilizada na construção civil.

3.4 Preparo dos Compósitos

3.4.1 Determinação da relação água/cimento

Os blocos desenvolvidos nesta pesquisa foram produzidos com misturas consideradas “secas”, ou seja; a quantidade de água contida na mistura é baixa e isso tende a fazer com que eles tenham um grau de adensamento insuficiente. As características desses blocos são, dessa forma, compatíveis com o comportamento definido pela linha pontilhada da Figura 2.6, onde seu ponto máximo de resistência está ilustrado pelos pontos marcados nas linhas. Neste caso, partindo de pequenas quantidades de água nas misturas, quando se aumenta tal quantidade, mantendo-se constante o método de adensamento inerente ao equipamento utilizado durante a moldagem, é de se esperar que a resistência também aumente, atingindo um valor máximo, e tornando em seguida a cair.

Desse modo, tornou-se importante determinar, previamente, o teor ideal de água (relação a/c) nas misturas. Isto é fundamental, para que se possa atingir o máximo de resistência à compressão dos blocos a serem produzidos, considerando as dificuldades no processo de moldagem dos mesmos.

O estudo realizado por Rosa (2006) mostra o comportamento do crescimento da relação água/aglomerante em corpos de prova cilíndricos produzidos com concretos EVA com traço 1:5 (cimento: agregados, em volume), teor semelhante ao que será adotado nesta pesquisa. A tabela 3.6 mostra 0,56 como relação ideal para estes compósitos, já que a próxima relação (0,58) apresenta decréscimo de resistência do concreto, sinal de aparente excesso de água na mistura.

Tabela 3.6 – Estudo de resistência do concreto EVA em função da relação água/ aglomerante

RELAÇÃO ÁGUA/AGLOMERADO	RESISTENCIA MÉDIA* (MPa)
0,54	1,90
0,56	2,90
0,58	2,46'
0,60	2,23

FONTE: (ROSA, 2006)

Porém, este estudo aponta a melhor relação para concretos EVA com 60% de substituição de agregados naturais por agregados EVA. Assim, foi necessário se fazer um estudo empírico para se estabelecer a relação ideal para os teores adotados nesta pesquisa (80%, 90% e 100%). Portanto, definiu-se 0,5 e 0,4 como pontos de partida para as dosagens de 80%, 90%, respectivamente.

O critério para escolha das relações água/ aglomerantes supracitadas foi basicamente a máxima adição de água para as condições de moldagem dos blocos.

3.4.2 Composição do traço adotado

Foram preparados três compósitos (C1, C2 e C3), utilizando-se, em todos eles, o traço 1:5 (cimento: agregados, em volume). Para o compósito C1, como anteriormente comentado, utilizou-se o teor de 80% de agregado artificial de EVA em substituição ao volume total de agregados. No compósito C2, este teor foi de 90% e para o compósito C3 de 100%. Em todos estes compósitos o agregado artificial de EVA utilizado não sofreu nenhum tipo de tratamento térmico.

Tabela 3.7 – Compósitos utilizados e respectivos teores de substituição de agregado de EVA.

Compósito	Traço	Aglomerante		Agregado
		Cimento	Miúdo	Graúdo
C₁		1	1,0 (20%)	4,0 (80%)
C₂	1:5	1	0,5 (10%)	4,5 (90%)
C₃		1	0,0 (0%)	5,0 (100%)

No momento do preparo da mistura, foi realizada a conversão do traço em volume para o traço em massa, de forma a apresentar maior confiabilidade nas medidas e resultados.

3.4.3 Mistura dos materiais

Depois de pesados todos os materiais, passou-se à mistura dos mesmos. Para tanto, utilizou-se uma betoneira de eixo horizontal com capacidade de 320 litros. A ordem de colocação obedeceu, inicialmente, ao que foi proposto por Bezerra (2002), porém, por se tratar de misturas onde se utilizou toda a capacidade da betoneira, algumas alterações foram necessárias para que se promovesse uma melhor homogeneização da mistura.

Assim, para a mistura dos materiais foi utilizado o seguinte procedimento:

- Fez-se uma molhagem nas paredes internas da betoneira, para evitar que parte da água de amassamento fosse “sugada”;
- Colocou-se o agregado de EVA em uma betoneira com capacidade para 320 litros, adicionando-se 1/3 da água de amassamento. Ligou-se a betoneira, esperando cerca de um minuto para uma adicional absorção de água pelo agregado;
- Com a cuba em movimento adicionou-se o cimento, esperando agora dois minutos;
- Adicionou-se a areia, esperando mais dois minutos;
- Adicionou-se o restante da água, esperando mais três minutos.

3.5 Moldagem dos Blocos EVA

Os blocos foram testados em processo de moldagem com uso de máquina do tipo vibroprensa com sistema misto (elétrico/manual – Figura 3.19), utilizando-se de forma metálica projetada (a partir do projeto dos blocos EVA) e confeccionada especificamente para a própria máquina. Uma base de madeira também teve que ser projetada para apoiar os blocos recém moldados, contemplando vazios apropriados para produzir encaixes do tipo macho nos blocos.



a) base de madeira sem o bloco moldado



b) preenchimento da forma com a máquina vibrando



c) retirada da base com os blocos moldados



d) desmoldagem dos blocos após acionar extrator



e) blocos antes de retirados da base



f) blocos após retirada da base de madeira.

Figura 3.19 – Processo de moldagem e desforma dos blocos EVA com máquina vibro-prensa utilizada no LABEME/CT/UFPB.

Para a moldagem dos blocos com a máquina vibro-prensa ligada e com os materiais já misturados iniciou-se o preenchimento da fôrma com o material. Em seguida, acionou-se a forma superior (extrator) e com a alavanca na posição de prensagem esperou-se por um tempo de 20 segundos, que foi o tempo ideal de vibração, o qual facilitou a desmoldagem da peça.

O teste em relação às formas de assentamento dos blocos foram realizados conforme a seguir (Figuras 3.20):

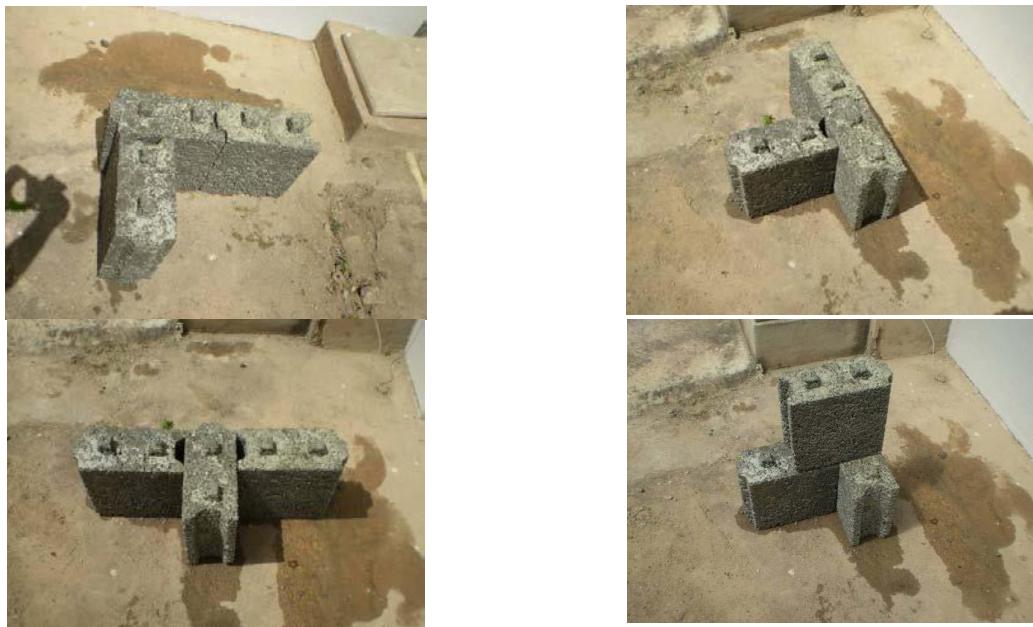


Figura 3.20 - Simulação de amarrações entre os blocos EVA

Os cuidados com a cura dos blocos EVA foram, considerando as idades de controle iguais a 7 dias e 28 dias:

- Imediatamente após a moldagem dos blocos, eles foram para câmara úmida, ambiente protegido com temperatura de ~ 23° e alta umidade;
- No dia seguinte, após 24 horas na câmara úmida, ocorreu a imersão dos blocos em tanques com água, saturada com cal;
- Ao longo dos 28 dias de idade os blocos permanecem imersos no tanque com água saturada com cal até suas idades de controle ou a idade para executar os prismas e paredes.



Figura 3.21 - Blocos EVA após cura inicial em câmara úmida



Figura 3.22 – Processo de cura dos blocos EVA imersos em tanque com água saturada com cal.

Para a confirmação dos ensaios de resistência à compressão foram retirados amostras de 6 (seis) blocos para realizar ensaios nas idades de 7 dias e de 28 dias. Os blocos EVA foram produzidos em quantidade suficiente para executar 8 (oito) prismas (Figura 3.23) e três paredes, conforme se apresenta a seguir.



Figura 3.23 – Confecção dos prismas e ensaios de resistência à compressão dos mesmos

3.6 Argamassa de assentamento

Na execução dos painéis EVA foi utilizada uma argamassa de assentamento mista de cimento, cal hidratada e areia no traço 1:2:4, em volume. A escolha dessa argamassa foi baseada em recomendações de um manual prático de traços para argamassa de assentamento de blocos de concreto.

O teor de água utilizada no preparo da argamassa de assentamento foi a necessária para se obter a consistência padrão, conforme NBR 13276.

3.7 Execução dos painéis

Para se avaliar o desempenho das paredes, executadas com os blocos EVA, no que se refere aos ensaios de resistência à compressão, foi necessária a confecção de três paredes.

Após o sexto dia de cura dos blocos no tanque com água, eles foram retirados e transportados para o ambiente de laboratório, permitindo-se que parte da sua umidade fosse perdida ao longo das 24 horas seguintes, quando os mesmos foram utilizados para confeccionar as paredes. O meio bloco utilizado durante o execução da parede foi produzido a partir do corte de um bloco inteiro, conforme se vê na Figura 3.24.



Figura 3.24 – Corte no bloco EVA originando dois meio blocos da família.

Estas possuíam uma largura de 1,20m, uma espessura de 0,125m (correspondente à espessura dos blocos) e altura de 2,60m, construídas com uma argamassa de assentamento aplicada somente na horizontal com 0,5cm de espessura, com a dosagem de 1:2:4 (cimento:cal:areia). As paredes foram executadas em duas etapas: 5 (cinco) fiadas no primeiro dia e as últimas 4 (quatro) fiadas no dia seguinte (Figura 3.25). Acima da última fiada, para completar a altura da parede em 2,60m, confeccionou-se uma cinta de concreto, com a mesma largura da parede, sendo sua altura de 0,125m, para receber a força da prensa e distribuí-la

equitativamente sobre a parede. A parede recebeu pintura a cal para facilitar a observação das fissuras durante o ensaio.



a) Assentamento da 1^a fiada



b) Assentamento da 3^a fiada



c) argamassa cola



d) assentamento do meio bloco



e) detalhe da leveza do bloco



f) detalhe da leveza do bloco



g) Execução viga de concreto



h) viga executada



i) parede pintada à cal

Figura 3.25– Processo de execução da parede com blocos EVA

3.8 Caracterização do Concreto Leve

3.8.1 Estado fresco

3.8.1.1 Determinação da massa unitária

A massa unitária foi determinada dividindo-se a massa do bloco, imediatamente após desmoldado, pelo seu volume. A determinação dessa massaunitária deu-se através da média dos resultados individuais de pelo menos seis determinações, para cada uma das três misturas EVA.

Dessa forma, tem-se:

$$\text{MUFresco} = \text{MBlocoEVA} / \text{VBloco EVA}$$

MUFresco = massa unitária do concreto em estado fresco (kg/m³);

MBlocoEVA = massa do bloco EVA (kg);

VBloco EVA = volume do bloco EVA (m³).

3.8.1.2 Trabalhabilidade e consistência

A NBR NM 67 caracteriza a consistência de concretos frescos através de ensaio de abatimento de tronco de cone. Entretanto, segundo Neville (1997) ressalta que este método não se aplica a concretos leves em geral.

Preferiu-se, portanto, analisar as condições de trabalhabilidade e consistência do concreto de maneira empírica através de observação visual durante a moldagem e eliminar os ensaios ditos convencionais.



Figura 3.26. Ensaio de abatimento com o concreto com EVA.

3.8.2 Estado endurecido

3.8.2.1 Determinação da resistência à compressão dos blocos EVA

Os ensaios foram realizados com o auxílio de uma prensa (Figura 3.27) e seguiu todas as recomendações determinadas por norma (NBR 5739 e NBR 12118). As velocidades de carregamento foram de 0,04 MPa/s para os blocos EVA.

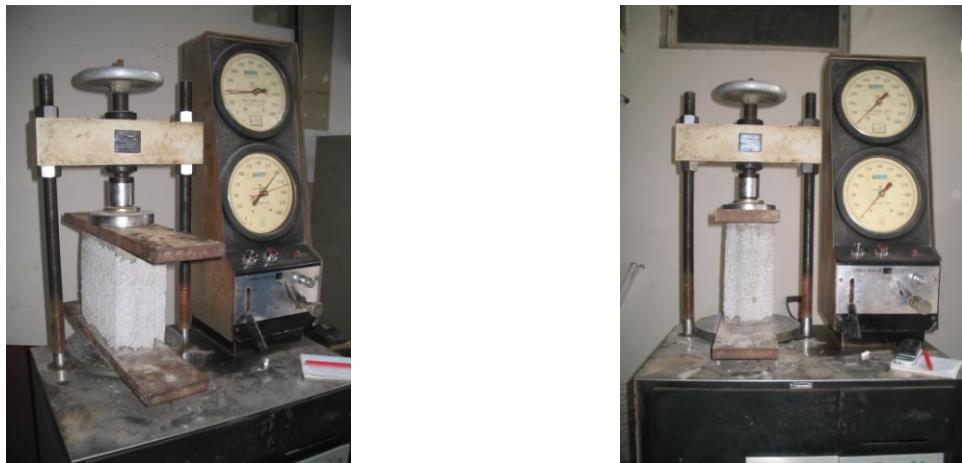


Figura 3.27 – Detalhe do ensaio de compressão do bloco EVA.

3.8.2.2 Desempenho das paredes com os Blocos EVA

Uma vez que os painéis foram executados em locais distintos do destinado ao ensaio de compressão dos mesmos, foi desenvolvido um sistema de transporte para eles. Foi construído um “carrinho” para transportá-los, tendo-se o cuidado de “abafar” os painéis com compensados de madeira forrados com espuma, de forma a conferir maior segurança ao processo de transporte, conforme Figura 3.28.



Figura 3.28 – Detalhe do procedimento de transporte dos painéis EVA ao local de ensaio.

Após vinte e oito dias de sua execução, os painéis foram submetidos ao ensaio de compressão. Tal prazo foi estipulado em função do período de maturação da argamassa de assentamento (28 dias).

Na realização do ensaio de compressão dos painéis utilizou-se uma unidade hidráulica elétrica para acionar macacos de duplo efeito, referência I-4079, da marca CONTENCO (Figura 3.29), seguindo todas as recomendações da norma NBR 8949.



Figura 3.29 – Detalhe da prensa utilizada no ensaio de compressão dos painéis.

Com o objetivo de se extrair mais resultados do ensaio de compressão dos painéis, foram instalados cinco defletômetros, com precisão de 0,01 mm, nos mesmos. Quatro destes foram destinados à medição dos deslocamentos verticais ocasionados pelo encurtamento dos painéis e o outro foi destinado à medição dos deslocamentos ocasionados pela flambagem (Figura 3.30).



Figura 3.30 – Detalhe do painel pronto para ser ensaiado e do posicionamento dos defletômetros.

3.8.2.3 Determinação da massa específica aparente (seca ao ar)

A massa específica aparente foi obtida através da divisão do peso do bloco, aos vinte e oito dia de idade, seco em ambiente de laboratório ($T=29 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $UR= 65 \pm 5\%$), pelo volume médio dos mesmos.

A massa específica foi determinada através da média dos resultados individuais de pelo menos nove determinações, para cada uma das três misturas EVA.

Dessa forma, tem-se:

$$ME_{\text{seco ao ar}} = MB_{\text{bloco EVA}} / VB_{\text{bloco EVA}}$$

MESeco ao ar = massa específica do concreto seco ao ar em ambiente de laboratório (kg/m³);

MBlocoEVA = massa do bloco EVA seco ao ar em ambiente de laboratório (kg);

VBloco EVA = volume do bloco EVA (m³).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos Materiais

4.1.1 Agregado miúdo (agregado natural)

As principais propriedades da areia utilizada estão apresentadas na Tabela abaixo.

Tabela 4.1 – Propriedades físicas da areia utilizada.

Propriedades	Valor
Massa específica	2611kg/m ³
Massa unitária em estado solto	1633,71kg/m ³
Dimensão máxima	2,4 mm
Módulo de finura	1,90

De acordo com a NBR 7211, a areia utilizada foi classificada como fina. Essa areia apresentou uma quantidade de material retido nas peneiras com 0,30 e 0,15 mm de abertura de aproximadamente 50%, o que é recomendado na produção de prémoldados para se obter um melhor acabamento de superfície aos mesmos. A composição e curva granulométrica da areia são apresentadas na Tabela 4.2 e Figura.4.1 respectivamente.

Tabela 4.2 – Composição granulométrica da areia utilizada.

Abertura da peneira (mm)	%Retida	%Retida/Acumulada
4,8	0,12	0,12
2,4	3,6	3,72
1,2	8,61	12,33
0,6	20,91	33,24
0,3	26,93	60,17
0,15	20,26	80,43
Resto	19,40	99,83

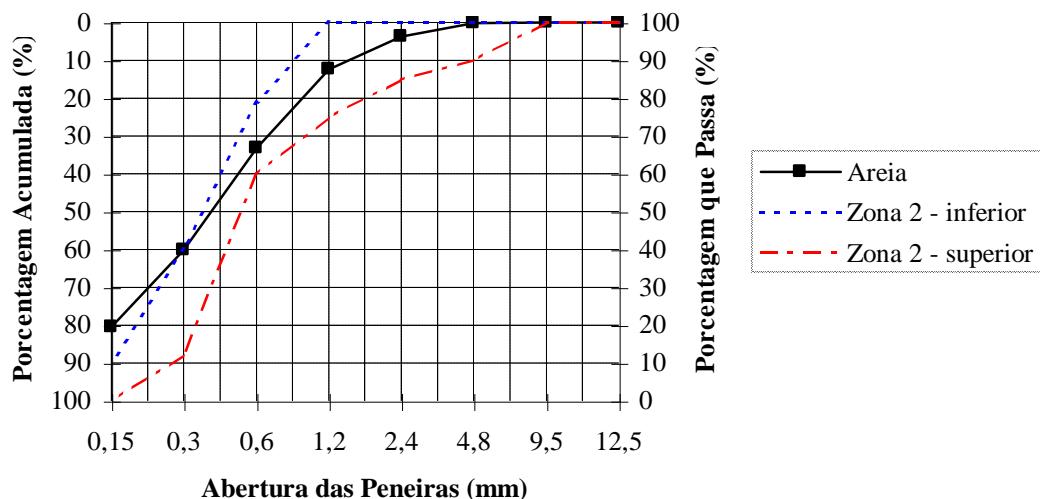


Figura 4.1 – Curva Granulométrica da areia e enquadramento na respectiva zona de classificação estabelecida pela NBR 7211.

4.1.2 Agregado leve artificial de EVA

Na Tabela 4.3 são apresentadas as principais características do agregado de EVA. A sua correspondente curva granulométrica é apresentada na Figura 4.2.

Tabela 4.3 – Propriedades físicas dos agregados de EVA.

Propriedade	Valor
Massa unitária em estado solto (kg/m ³)	105
Diâmetro máximo (mm)	9,5
Módulo de finura	5,85

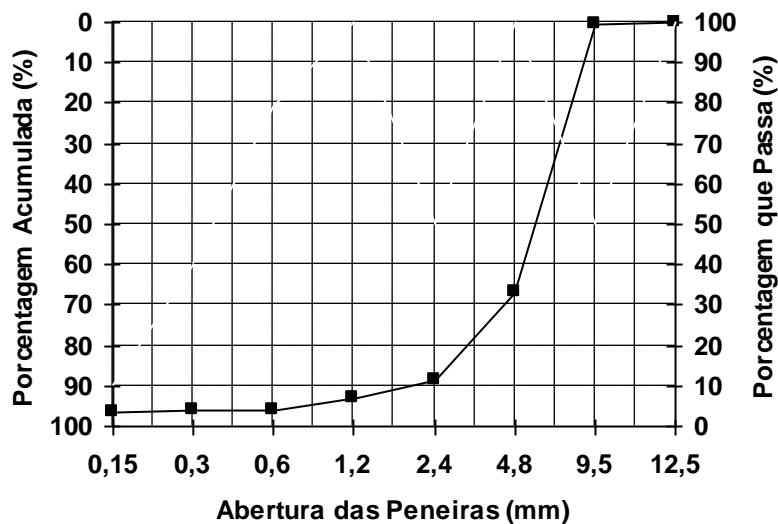


Figura 4.2 – Curva granulométrica do agregado artificial leve de EVA.

Talvez a maior dificuldade enfrentada em trabalhos que utilizam resíduos como insumos na construção civil seja a grande variabilidade que estes materiais apresentam. Embora todo o agregado separado para esta pesquisa tenha sido triturado e ensacado no próprio laboratório, constatou-se que suas densidades eram diferentes. Isso pode ser explicado pela grande diversidade de modelos de calçados produzidos nas indústrias que utilizam o EVA como matéria-prima, os quais apresentam densidades diferentes apesar de serem constituídos pelo mesmo material.

Entre os sacos separados em laboratórios contendo agregado de EVA, constatou-se uma variação na massa unitária em estado solto desse material, de 92Kg/m³ a 105Kg/m³,

aproximadamente. Esta variação refletiu de maneira significativa na absorção do agregado de EVA, uma vez que quanto mais denso o agregado de EVA menos “esponjoso” ele foi e, menos água de amassamento absorveu. O reflexo dessa diferença de absorção foi notado de maneira significativa na consistência do concreto de EVA no estado fresco. Quando se utilizou um agregado de EVA menos denso, mais “leve”, no preparo das misturas, o concreto de EVA, assim obtido, apresentou-se mais “seco” ao contrário do que ocorreu quando se utilizou um agregado de EVA mais denso.

4.1.3 Cimento

O cimento utilizado foi do tipo CP II Z-32 RS. As suas principais características físicas e químicas foram apresentadas no Item 3.2.3.

4.2 Caracterização do Concreto Leve

4.2.1 Determinação da relação água/cimento

Como ponto de partida para a confecção dos blocos foi utilizada a relação água/aglomerante de se 0,56, conforme foi definido no Item 3.3.1.

Porém, para essa relação, não se conseguiu desmoldar os blocos, pois a mistura se encontrava muito plástica, provocando adesão de material nas paredes internas dos moldes da máquina e na placa de madeira que serve de base para os blocos. Observou-se ainda, que uma grande quantidade de água escorreu na base dos blocos. A utilização desta relação água/aglomerante foi descartada, considerando que se deve pensar em escala produtiva industrial, o que não é compatível com a delicadeza necessária no momento da desmoldagem, neste caso.

Por conseguinte, a quantidade ideal de água na mistura dos blocos de EVA obtida experimentalmente, foi aquela máxima que permitiu a desmoldagem dos blocos, ou seja: $a/agl = 0,56, 0,50$ e $0,40$ para as dosagens de 80% , 90% e 100% , respectivamente.

4.2.2 Massa unitária em estado fresco e massa específica aparente seca ao ar

Os resultados encontrados para a massa dos blocos EVA, massa unitária em estado fresco e massa específica aparente seca ao ar para os compósitos, são encontrados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Massa dos blocos EVA, massa unitária em estado fresco e massa específica aparente (seca ao ar) dos compósitos, em função do traço utilizado e do teor de incorporação de agregado de EVA.

Compósito	Massa do Bloco(Kg)		Massa unitária em estado fresco (kg/m ³)	Massa específica aparente (seco ao ar) (kg/m ³)
	Estado fresco (Kg)	Seco ao ar (kg)		
C ₁ (80%)	7,42	7,00	904,87	853,65
C ₂ (90%)	5,10	4,99	621,95	608,53
C ₃ (100%)	Não se conseguiu moldagens com este compósito			

É interessante destacar que, se comparados com os resultados obtidos por Bezerra (2002), observa-se um aumento proporcional nas massas dos blocos. Isso pode ser explicado pelo maior grau de adensamento conseguido nesta pesquisa, devido ao aumento da relação água/aglomerante ou pela simples diferença de vibração e prensagem das máquinas que produziram os blocos. Associado ao ganho de massa do concreto analisado espera-se um aumento da mesma ordem nos resultados de resistência à compressão dos blocos, como será discutido em item subsequente.

Para se ter ideia da redução de massa conseguida com o bloco EVA, pode-se considerar que se fosse utilizado um concreto normal com uma massa específica média de 2400 kg/m³, conforme Item 2.1, na fabricação de blocos com as mesmas dimensões dos produzidos nesta pesquisa, estes teriam uma massa de aproximadamente 19,7 kg. Constata-se, assim, um dos efeitos benéficos da incorporação do agregado leve de EVA nos compósitos: a redução da massa dos blocos. Essa redução pode acarretar ganhos de produtividade na execução da alvenaria, bem como promover o alívio de carga na estrutura.

4.2.3 Resistência à compressão dos Blocos EVA

Na Figura 4.3 são mostrados os resultados do ensaio de resistência à compressão dos blocos EVA para os compósitos C1 e C2.

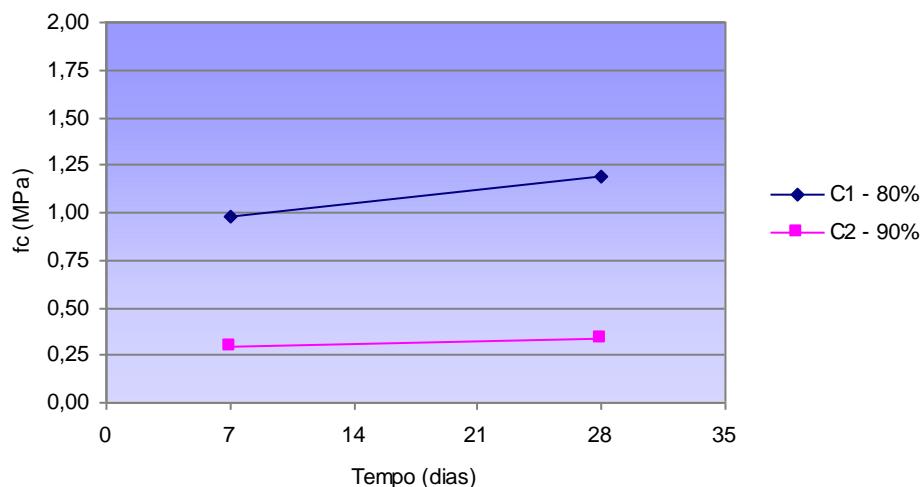


Figura 4.3– Resistência à compressão dos blocos EVA produzidos com os compósitos C1, C2.

Como em outras pesquisas que utilizaram o concreto EVA, a Figura 4.4 confirma que a resistência à compressão dos blocos EVA é inversamente proporcional ao teor de incorporação do agregado de EVA no compósito, considerando os dois teores estudados nas duas idades de controle analisadas (7 e 28 dias).

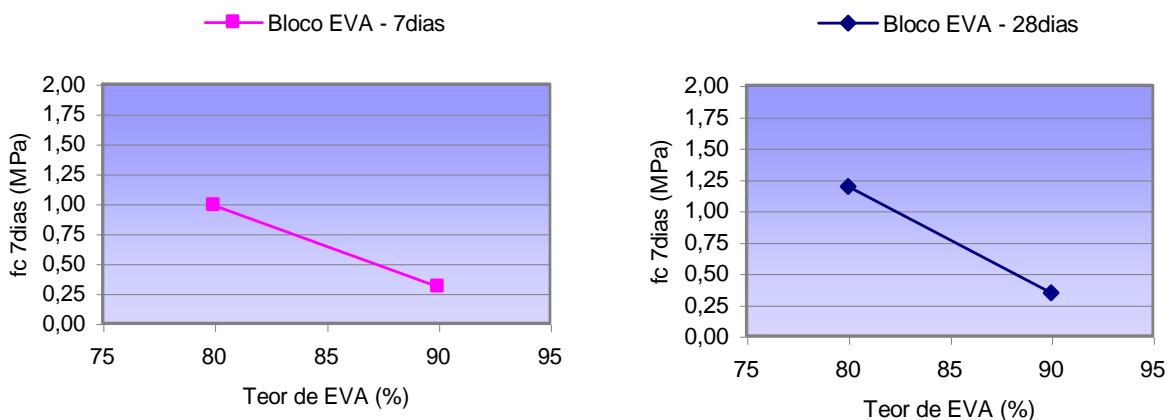


Figura 4.4 – Resistência à compressão dos blocos EVA em função do teor de incorporação do agregado de EVA, para as idades de controle de 7 e 28 dias.

Observa-se o valor máximo de resistência à compressão atingido pelo bloco EVA foi de 1,19 MPa. Tal valor foi alcançado com os blocos EVA produzidos a partir do compósito C1 (80%) e ensaiados na idade de controle de vinte e oito dias.

A Tabela 4.5 apresenta a comparação entre os resultados obtidos de resistência à compressão para os EVA (25,0cm x 25,0cm x 12,5cm) e os blocos desenvolvidos por Polari Filho (2005), Pimentel (2005), aqui chamados de Bloco EVAP1 (0,39cm x 0,19cm x 0,09cm) e EVAP2 (59,0cm x 26,5cm x 11,5cm), respectivamente. Todos moldados com 80% de EVA, substituindo os agregados naturais. Em geral, o comportamento dos blocos é semelhante, entretanto percebe-se que com o bloco EVA tem-se uma otimização no consumo de cimento, tendo em vista que esse foi, nos estudos realizados, o único bloco moldado com o traço 1:5 (cimento:agregados – em volume).

Tabela 4.5 - Resultados comparativos entre os blocos EVAP1, EVAP2 e EVA, com as respectivas paredes e cálculo da eficiência.

Blocos	Traço	Teor EVA	Blocos EVA 80%		Paredes Tensão de compressão média (MPa)	Eficiência
			Peso(kg)	Resistência à compressão média (MPa)		
				7dias	28dias	
EVA P1	1:3	80	5,24	1,08	1,29	1,03
EVA P2	1:3	80	15,19	0,66	0,82	0,92
EVA	1:5	80	7,00	0,98	1,19	0,47
						0,40



Figura 4.5 – Capeamento das faces do bloco EVA (esquerda) e ensaio de resistência à compressão (direita)

Verifica-se, portanto, que com o bloco EVA consegue-se um equilíbrio entre uma resistência à compressão próxima do desejável, uma leveza interessante para o componente e uma geometria com encaixes e dimensões adequadas para facilitar a manipulação dos elementos durante a execução da alvenaria.

Embora os maiores resultados obtidos ainda não tenham apresentados valores mínimos exigidos pela norma para blocos de concreto simples, deve-se lembrar que os blocos EVA são componentes construtivos alternativos sem normas específicas para eles e que, para blocos de concreto simples, a resistência à compressão mínima exigida por norma é de 2,0 MPa (NBR 6136) e para blocos cerâmicos este valor é de 1,0 MPa (NBR 15270-1). Portanto, é importante perguntar-se: Qual é a resistência à compressão mínima que deve ter esse bloco alternativo (EVA), levando em conta o seu comportamento mecânico diferente? Essa resposta deverá ser esclarecida, em parte, nos itens subsequentes.

4.2.4 Resistência à compressão da argamassa de assentamento

Por apresentar encaixes horizontais e verticais, não estava previsto o uso de qualquer argamassa de assentamento nos painéis e prismas estudados. A idéia inicial era conseguir avaliar o desempenho destes mecanismos de intertravamento submetidos à cargas verticais.

Ocorre que o processo de produção dos blocos e até o agregado utilizado nesta pesquisa resultaram em diferenças consideráveis de dimensões entre os blocos que formariam os painéis. Assim, foi preciso utilizar uma cama de 0,5cm de espessura e com a dosagem de 1:2:4 (cimento:cal:areia), somente na horizontal, para corrigir estas distorções.

A média da resistência à compressão desta argamassa aos 28 dias foi de 4,11 MPa. Esse valor está fora das recomendações apresentadas no Item 2.4.3, no tocante a relação entre a resistência à compressão da argamassa e dos blocos utilizados na confecção dos painéis. É

sugerido que se utilize uma argamassa com resistência à compressão entre 70% e 100% da resistência do bloco utilizado (GOMES, 1983 apud RAMALHO E CORRÊA, 2003).

Diante disso, ficou constatado que os manuais existentes para dosagem de argamassas, como o utilizado nesta pesquisa, conforme citado no Item 3.7, devem servir apenas como referência. É necessário, então, que seja desenvolvido um estudo mais apurado de dosagem da argamassa a ser utilizada na confecção dos painéis, de acordo com os materiais disponíveis e os blocos utilizados à fim de otimizar o desempenho do sistema (alvenaria).

4.2.5 Resistência à compressão dos painéis e prismas com blocos EVA

Os ensaios de resistência à compressão dos painéis EVA foram realizados conforme procedimento da NBR 8949. Os resultados médios desses ensaios podem ser observados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Valores médios de resistência à compressão e carga de ruptura por metro linear dos painéis EVA.

Painel	fc Médio (MPa)	Carga de ruptura (kgf/m)
EVA ₁ (80%)	0,43	6050
EVA ₂ (80%)	0,55	7770
EVA ₃ (80%)	0,44	6140

Embora a análise dos resultados obtidos neste ensaio tivesse como objetivo principal a análise das cargas de ruptura e deformações, foi interessante verificar o comportamento dos encaixes verticais e horizontais projetados. Deve-se lembrar de que na construção desses painéis se utilizou argamassa colante (4,11MPa), apenas nas juntas horizontais entre os

blocos. Assim, foi confirmado o comportamento típico para esse material, no qual a parede durante o ensaio de compressão deforma-se bastante antes de atingir o colapso do conjunto (Figura 4.6).



Figura 4.6 – Detalhes da primeira fissura e do final do ensaio após o colapso da parede com a sua desmontagem. Observa-se que vários blocos EVA se rompem apenas no encaixe, mas se mantêm inteiros nas outras partes.

De um modo geral, o bloco EVA demonstrou excelente potencial de uso e aplicação. No ensaio de resistência à compressão com a parede, verificou-se que a mesma suportou carga de até 7770 kg e pode-se observar que após o seu colapso vários blocos romperam-se no encaixe, mas se mantiveram inteiros. O refinamento do projeto do bloco EVA (redefinição dos tamanhos dos encaixes) e do projeto de sua forma (uso de fibra de vidro na base de apoio dos blocos recém-moldados) permitirão no futuro melhores desempenhos para esse elemento, frente a esse tipo de ensaio.

O resultado também sugere que uma dosagem com uso de EVA numa granulometria menor ($D_{máx} = 4.8\text{mm}$) ajudaria no acabamento superficial, no controle dimensional e consequentemente no melhor ajuste entre os encaixes durante a montagem da parede.

A Tabela 4.7 apresenta os resultados de desempenho dos prismas moldados com os blocos EVA. Observa-se, como esperado, uma queda de resistência dos prismas em relação aos blocos isolados, confirmando os fenômenos apontados no item 2.5.

Tabela 4.7 – Resistência à compressão dos prismas e blocos EVA isoladamente

	Blocos EVA		Resistência à compressão média (MPa)	
	traço	teor EVA	7dias	28dias
Prismas	1:5	80	0,74	0,84
Bloco EVA	1:5	80	0,98	1,19

A tabela a seguir mostra ainda a relação entre a resistência dos painéis e a resistência de blocos do mesmo lote ensaiados isoladamente. A razão destes resultados mostra a eficiência¹ que as alvenarias apresentam.

Tabela 4.8 – Eficiência média dos painéis EVA

Painel	f_c 28 dias (MPa)		Eficiência Média
	Painel EVA	Bloco EVA	
Painel₁ (80%)			
Painel₂ (80%)	0,47	1,19	40%
Painel₃ (80%)			

É importante lembrar que as normas estabelecem valores mínimos de resistência para blocos por questões de controle de qualidade de produção, mas sabemos que o objetivo final da utilização destas peças é a sua utilização em painéis e não a sua utilização isoladamente.

¹ Como já definida, no Item 2.5.2, a eficiência de cada painel é representada pela razão entre a sua resistência à compressão e a resistência à compressão do bloco EVA utilizado na sua execução.

Assim, analisar a eficiência de cada tipo de alvenaria torna-se indispensável para a viabilidade dos blocos para alvenaria e condição importante para a garantia da qualidade das construções.

4.2.6 Deslocamentos nos painéis

Como citado no Item 3.9.2.2, alguns defletômetros foram colocados nos painéis com o objetivo de medir os deslocamentos sofridos (encurtamento e flambagem) por estes ao serem submetidos aos esforços de compressão simples. A Figura 4.7 apresenta o resultado do encurtamento médio das paredes estudadas com os blocos EVA. Pode-se perceber que a inclinação da curva diminui, ficando a mesma mais próxima do eixo das abscissas, ou seja, as paredes tornaram-se mais deformáveis (maiores encurtamentos para a mesma carga), comparativamente aos ensaios anteriores. De qualquer modo, esse comportamento é considerado semelhante ao ocorrido nos estudos de Polari Filho (2005), com os painéis com blocos produzidos com traço 1:3 (cimento : agregados, em volume) e um teor de 80 % de EVA em substituição ao agregado natural (areia). No caso do bloco EVA, observou-se que a carga de ruptura da parede foi menor (7.770kgf.).

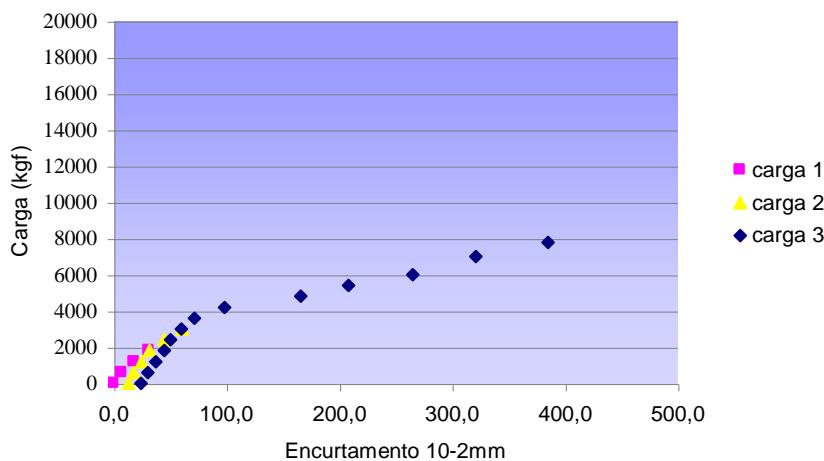


Figura 4.7 - Resultado do encurtamento médio das paredes com bloco EVA 80%, em função da carga atuante.

Os resultados a partir das leituras nos defletômetros durante os ensaios revelaram que para as paredes com blocos EVA o surgimento da primeira fissura se deu por volta de 60% da sua carga média de ruptura. Percebe-se, assim que, apesar de fissuradas, as paredes ainda mantêm a sua capacidade resistente, chegando a suportar muita carga após o surgimento da primeira fissura.

Com a evolução da tecnologia do concreto armado, representada pela fabricação de aços com grande limite de elasticidade, produção de cimentos de melhor qualidade e desenvolvimento de métodos refinados de cálculos, as estruturas foram se tornando mais flexíveis. Em muitos casos, essas deformações sofridas pela estrutura fazem surgir na alvenaria esforços de compressão não “esperados”, bem como possíveis fissuras, podendo até mesmo levar ao colapso deste elemento. (POLARI FILHO, 2005)

Diante do exposto, e considerando as grandes deformações na direção do carregamento, é possível afirmar que a ductilidade deste material pode assumir um papel importante no combate a algumas patologias nas alvenarias comumente encontrada em muitas edificações nos dias de hoje.

4.2.7 Consumo de materiais

Na Tabela 4.9 estão apresentados os consumos de materiais encontrados em todos os compósitos estudados.

Tabela 4.9 – Resistência à compressão dos blocos EVA aos 28 dias e consumo de materiais por bloco e por metro cúbico de concreto EVA produzidos.

Compósito	fc 28dias (MPa)	Consumo de materiais					
		Por bloco			Por m3		
		Cimento (Kg)	Areia (dm3)	EVA (dm3)	Cimento (Kg)	Areia (m3)	EVA (m3)
C1 (80%)	1,19	2,58	2,14	8,63	314,63	0,26	1,05
C2 (90%)	0,35		1,07	9,61		0,13	1,17

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos na etapa de experimentação e o confrontamento destes com os objetivos e fundamentação teórica deste trabalho nos permite destacar que:

- A elaboração de blocos EVA de vedação na perspectiva da construção seca exige, além de um estudo arquitetônico relacionado com os edifícios onde estes blocos serão aplicados, um estudo relacionado com as propriedades do concreto estudado (modo de moldagem, espessuras de paredes externas e encaixes coerentes com as novas dimensões). Esse fato deve ser considerado no cálculo da massa estimada do novo bloco sob pena de se ter problemas de fragilidade na desmoldagem ou comprometimento da resistência à compressão;
- O agregado EVA $D_{máx}=9,5\text{mm}$ utilizado na produção de blocos EVA, apesar de apresentar boas condições de manejo e obtenção, não se comporta adequadamente à produção de blocos intertravados. Acredita-se que granulometria com $D_{máx}=6,3\text{mm}$ ou $D_{máx}=4,8\text{mm}$ apresentem melhores resultados de acabamento superficial do concreto com consequentes melhorias de desempenhos dos encaixes;
- A relação água/cimento que se mostrou mais viável na execução dos blocos EVA foi a de 0,50;

- Os blocos EVA demonstraram também ser facilmente cortados, o que pode representar facilidades nas execuções de instalações na obra;
- O resíduo oriundo da indústria de calçados, utilizado nesta pesquisa como agregado de EVA, apresentou uma variação em sua massa unitária em estado solto de 90kg/m^3 a 105kg/m^3 , aproximadamente;
- A massa específica aparente (seco ao ar) dos compósitos estudados ficaram situadas entre $747,39\text{kg/m}^3$ e $861,24\text{kg/m}^3$, podendo, então, ser classificados como concretos leve;
- As deformações verticais sofridas pelos painéis com blocos EVA, quando ensaiados à compressão simples e a análise de seus encurtamentos permitem constatar que os painéis constituídos com os blocos EVA foram bastante deformáveis e a sua deformação deu-se no sentido de aplicação da carga sobre o painel;
- A otimização da dosagem dos compósitos estudados para a produção em laboratório dos blocos EVA possibilitou a redução do consumo de cimento/ m^3 de aproximadamente 34%. A luz do conhecimento acumulado nesta pesquisa a dosagem recomendada para produção de blocos EVA é utilizar o traço 1:5 (cimento Portland: agregado, em volume) com consumo de cimento com cerca de 315kg/m^3 ;
- Os resultados dos ensaios de resistência à compressão em blocos, prismas e painéis permitem afirmar que 1,2 MPa é suficiente para a resistência à compressão do bloco e

da parede com função de vedação, considerando-o como parâmetro de um material não convencional;

- O projeto do bloco EVA (25,0cm x 25,0cm x 12,5cm) foi testado e pode ser considerado de grande potencial de aplicação, seja em termos da definição de suas dimensões, encaixes e do processo de moldagem e desforma, seja em termos do resultado de resistência à compressão alcançado na parede e nos próprios blocos, sendo destacadas as limitações de adensamento dos compósitos nas formas inerente ao processo de fabricação em escala laboratorial;
- O uso do bloco EVA 80% também pode ser considerado viável tecnicamente, levando-se em conta o potencial de aproveitamento de resíduos (teor de EVA substituindo agregado natural) e a redução no consumo de cimento na fabricação dos elementos.

Com base nos resultados obtidos pode-se confirmar o potencial do aproveitamento dos resíduos de EVA (Etileno Acetato de Vinila) provenientes das indústrias calçadistas (aparas e sobras na fabricação de sandálias) na confecção de blocos de vedação utilizados na construção civil.

De uma maneira geral a produção de blocos de vedação (Bloco EVA) a partir da utilização do agregado de E.V.A. é um processo relativamente simples e apresenta-se como uma solução alternativa, ecologicamente interessante, para o problema da destinação final dos resíduos de E.V.A. provenientes da indústria de calçado.

A consolidação dos blocos propostos além de contribuir com a reciclagem de um tipo de resíduo, pode representar a redução de impactos negativos no meio ambiente, dando destino ecologicamente correto a resíduos industriais (EVA) e diminuindo a extração de matéria-prima (Areia) da natureza.

Este trabalho mostra que o caminho para a viabilização deste produto deve passar, dentre outras diversas etapas, pelo estudo do desenvolvimento de pré-moldados com dimensões e geometria diferentes, que permitam explorar a utilização dos compósitos leves, compatibilizando dimensão e peso dos blocos e buscando otimização do processo de produção de alvenaria e dos subsistemas relacionados à ela.

Finalmente, espera-se ter cumprido apenas uma etapa na busca por uma alternativa válida para o aproveitamento desses resíduos e, ao mesmo tempo, para aumentar a credibilidade dos processos de reciclagem.

Sugestões para Futuras Pesquisas

- Trabalhar variações de granulometria dos agregados EVA ($D_{máx}=6,3\text{mm}$ ou $D_{máx}=4,8\text{mm}$) em busca da diminuição das variações dimensionais dos blocos encontradas nesta pesquisa;
- Refinar o projeto do Bloco EVA, revendo o dimensionamento e o funcionamento dos encaixes verticais e horizontais propostos;

- Realizar um estudo de modelagem computacional com variações dimensionais e geométricas de blocos para análise de comportamento mecânico;
- Realizar um estudo de viabilidade técnico-econômico da utilização do bloco EVA em edificações;
- Construir protótipos em escala real com os blocos EVA desenvolvidos nesta pesquisa e analisar o comportamento desses quanto à realização dos ensaios de impactos de corpo-mole, corpo-duro, interação entre portas e painéis de vedação, bem como analisar o desempenho destes quanto ao comportamento de peças suspensas;
- Realizar um estudo relativo ao comportamento térmico e acústico dos blocos de vedação de concreto EVA;
- Desenvolver um estudo de dosagem da argamassa a ser utilizada nos painéis executados com os blocos propostos nesta pesquisa a fim de se otimizar o desempenho do sistema alvenaria.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

_____. **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios – NBR NM 45.** Rio de Janeiro, 2006;

_____. **Agregado para concreto NBR 7211.** Rio de Janeiro, 1983;

_____. **Agregados - Determinação da composição granulométrica - NBR NM 248.** Rio de Janeiro, 2003;

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

_____. **Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio – NBR 9776.** Rio de Janeiro, 1988;

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de – NBR 13276.** Rio de Janeiro, 2005;

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos – NBR 13281.** Rio de Janeiro, 2001;

_____. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos – NBR 6136.** Rio de Janeiro, :2007

_____. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural Determinação da resistência à compressão - NBR 7184.** Rio de Janeiro, 1992;

- _____. **Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto - Procedimento** - ABNT NBR 10837:2000. Rio de Janeiro, 2001;
- _____. **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica - NBR NM 23.** Rio de Janeiro, 2001;
- _____. **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão - NBR 7215.** Rio de Janeiro, 1996;
- _____. **Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega - NBR 11581.** Rio de Janeiro, 1991;
- _____. **Cimento Portland – Determinação de anidrido sulfúrico - NBR 5745.** Rio de Janeiro, 1989;
- _____. **Cimento Portland – Determinação de resíduo insolúvel - NBR 5744.** Rio de Janeiro, 1989;
- _____. **Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos - ABNT NBR 15270-1.** Rio de Janeiro, 2005
- _____. **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone - NBR NM 67.** Rio de Janeiro, 1998;
- _____. **Concreto - Determinação da consistência pelo espalhamento do tronco de cone - NBR 9606.** Rio de Janeiro, 1986;
- _____. **Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman – NBR 9776.** Rio de Janeiro, 1987;
- _____. **Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. NBR 5739.** Rio de Janeiro, 2007;
- _____. **Execução e controle de obras de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto - Procedimento. NBR 8798.** Rio de Janeiro, 1985;

_____. **Paredes de alvenaria estrutural - Ensaio à compressão simples - Método de ensaio – NBR 8949.** Rio de Janeiro, 1985;

_____. **Execução e controle de obras de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto - Procedimento. NBR 8798.** Rio de Janeiro, 1985;

_____. **Poliestireno expandido para fins de isolamento térmico – Determinação de absorção de água - NBR 7973.** Rio de Janeiro, 1983;

ACI 213R-87, Guide for structural lightweight aggregate concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1: Materials and general Properties of Concrete, 27 pp. (Detroit, Michigan, 1994);

BARBOSA, M.T.G. Alvenaria Estrutural - Novas tendências técnicas e de mercado. Rio de Janeiro, 2002. Interciência – SENAI, 1 ed. p11 a p25;

BEZERRA, A. J. V. Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA – Etileno Acetato de Vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural, Dissertação de Mestrado, UFPB/CCT, 2002;

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Code of practice for structural use of masonry - BS 5628, Party 1. Unreinforced masonry. Londres, Inglaterra, 1992;

CALÇADA, L. M. L. Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto. Florianópolis, 1998. 167p. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina;

CAÑAS et al. Concreto leve – Uma opção para a construção civil. In: 43º Congresso Brasileiro do Concreto; COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum:** Relatório Brundtland. Rio de Janeiro: FGV, 1988. 430p.

DAVISON, J. I. Masonry mortar. Ottawa, National Research Council of Canada, 1974. (Canadian Building Digest-163);

FRANCIS, A. J. et al. The effect of joint thickness and other factors on the compressive strength of brickwork. In: International brick masonry conference, 2., Stoke-on-trent, England, Proceedings. Stoke-on-trent, British Ceramic Research Association, p. 31;

GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil.** Porto Alegre, 1998. 146p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul;

GARLET, G. & GREVEN, H. A. **Aproveitamento de resíduos de E.V.A. da indústria calçadista na construção civil.** Anais do Workshop sobre Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil. ANTAC - PCC /USP, São Paulo, 1996;

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

MOROSINE, F. **Controle ambiental de resíduos sólidos indutriais.** João Pessoa – PB, 2005. Disponível em: <http://www.sudema.pb.gov.br/textos_balneabilidade_pb.shtml>. Acesso em 20 jan 2005;

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

PIMENTEL, U. H. O. **Utilização de resíduos da indústria de calçados em blocos de vedação com novas geometrias – Bloco EVANG.** João Pessoa, 2005, 139 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós graduação em engenharia urbana, Universidade Federal da Paraíba;

POLARI FILHO, R. S **Contribuição ao processo de reciclagem dos resíduos da indústria de calçados na construção civil: Bloco EVA - uma alternativa às alvenarias das construções.** João Pessoa, 2005, 88p. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós graduação em engenharia urbana, Universidade Federal da Paraíba;

PRUDÊNCIO JR. **Alvenaria estrutural.** Notas de aula, Curso de Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 1994;

PREZOTTO et al. **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;

RAMALHO, M. A. e CORRÊA, M. R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural.** São Paulo: PINI, 1 ed. 2003;

RRIBEIRO, 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;

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

ROSA D. C. D. **Avaliação de alvenarias com blocos de EVA executados em protótipo em escala real /Estudo de impactos mecânicos (corpo mole e corpo duro) em alvenarias com blocos de EVA;** Universidade Federal da Paraíba, Relatório final PIBIC/CNPQ/UFPB, agosto 2006.

ROCHA, F. M. D. **Avaliação de pré-moldados leves alternativos à base de cimento portland, com aproveitamento de resíduos da indústria de calçados (Aparas da produção de sandálias): desenvolvimento de blocoEVA2 com nova geometria.** Universidade Federal da Paraíba, Relatório final PIBIC/CNPQ/UFPB, agosto 2004.

ROCHA J. C. e JOHN V. M. **Utilização de resíduos na construção habitacional.** Porto Alegre, ANTAC, 2003 – Coleção Habitare, v. 4. 272p;

SABBATINI, F. H. **Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente.**

SABBATINI, F. H. **Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente.** São Paulo, ABCP, 2.ed.1998. 44p. (ET-91);

SALÓRZANO, M. G. P. **Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto.** São Paulo, 1994, 203p. Dissertação (Mestrado em engenharia) apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo;

SLACK, N. et. al. **Administração da Produção.** São Paulo: Atlas, 1996;

ZANG, M.H. and GJORV, O.E., **Characteristics of lightweight aggregate for hightstrength concrete,** ACI Materials Journal, 88, N°2, pp. 150-8 (1991);

TRIUNFO, P. S. A. Copolímero Etíleno-Acetato de Vinila (EVA) – Características e informações gerais. Folheto da petroquímica Triunfo, RS, 1994.