

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E  
URBANISMO**

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO PARA APLICAÇÃO DO  
PÓ DE SERRA DA MADEIRA EM ELEMENTOS DE  
ALVENARIA DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL.**

Flavio Pedrosa Dantas Filho

Campinas, SP  
2004

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E  
URBANISMO**

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO PARA APLICAÇÃO DO  
PÓ DE SERRA DA MADEIRA EM ELEMENTOS DE  
ALVENARIA DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL.**

Flavio Pedrosa Dantas Filho

Orientador : Prof. Vitor Antonio Ducatti

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de concentração em Edificações.

Campinas, SP  
2004

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

D235b Dantas Filho, Flavio Pedrosa  
Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural / Flavio Pedrosa Dantas Filho. --Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Vitor Antonio Ducatti.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Calor - condução. 2. Resíduos vegetais. 3. Blocos de concreto. 4. Reciclagem - Industria. I. Ducatti, Vitor Antonio. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E  
URBANISMO**

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO PARA APLICAÇÃO DO  
PÓ DE SERRA DA MADEIRA EM ELEMENTOS DE  
ALVENARIA DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL.**

Flavio Pedrosa Dantas Filho

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. Vitor Antonio Ducatti  
Presidente e Orientador - FEC/UNICAMP

Profa. Dra. Rosa Cristina Cecche Lintz  
PUC/CAMPINAS

Profa. Dra. Lucila Chebel Labaki  
FEC/UNICAMP

Campinas, 26 de novembro de 2004

## **AGRADECIMENTOS**

Ao se concluir um trabalho como este, é necessário agradecer àquelas pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram, participaram ou incentivaram o seu desenvolvimento. Desta forma, expresso aqui os meus sinceros agradecimentos:

A Deus por tudo. “O Senhor é minha luz, proteção da minha vida”.

Ao professor Luiz Alfredo Cotini Grandi, pela orientação e contribuição, fornecendo o material (pó de serra) e parte de sua metodologia de caracterização do material para a realização dos trabalhos.

Ao professor e orientador Vitor Antonio Ducatti, pela confiança e reconhecimento do meu trabalho, através de uma orientação competente e provedora de conhecimentos, durante sua realização.

Ao professor Saulo Güths, da Universidade Federal de Santa Catarina, pela ajuda nos ensaios de condutividade térmica, fundamentais para a realização deste trabalho.

Ao professor Márcio J. Estefano de Oliveira, pela valiosa contribuição para o meu trabalho.

À professora Lucila Chebel Labaki, pela ajuda e pelo incentivo ao meu trabalho, sempre com boa vontade e disposição para atender as minhas dúvidas.

Aos técnicos do Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade de Taubaté, Jurandir Machado Filho e José Renato Paiva, pelo auxílio na confecção dos componentes estudados e na execução dos ensaios.

A todos os meus familiares que de certa forma contribuíram com a minha formação. Aos meus pais Flavio e Terezinha, minha esposa Alzira e meu filho Gustavo, pelo apoio e incentivo durante o mestrado.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE SIGLAS	xvi
LISTA DE SÍMBOLOS	xvii
RESUMO	xviii
ABSTRACT	xix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Estrutura da pesquisa	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 O pó de serra como resíduo sólido	6
2.2 Materiais cimentícios reforçados com fibras vegetais	7
2.3 Durabilidade dos compósitos com fibras vegetais	10
2.4 Coeficiente de absorção sonora de argamassa com o pó de serra	13
2.5 Aspectos tecnológicos do concreto utilizado em blocos de concreto	15
2.5.1 Concretos plásticos	16
2.5.1.1 Propriedades do concreto no estado fresco	16
2.5.1.2 Propriedades do concreto no estado endurecido	18
2.5.2 Concretos “secos”	21
2.5.2.1 Propriedades do concreto fresco para blocos	22
2.5.2.2 Propriedades do concreto endurecido para blocos	23
2.6 Metodologias de dosagem para concretos de consistência seca	24
2.6.1 Método de dosagem ABCP	25

2.6.1.1	Método proposto por FERREIRA JUNIOR (1995)	27
2.6.2	Método de dosagem Besser	29
2.7	Características dos blocos de concreto	35
2.8	Equipamento utilizado na produção de blocos de concreto	38
2.9	Condução e condutividade térmica	39
2.10	Elementos de enchimento das pré-lajes	42
3	MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1	Pó de serra	43
3.1.1	Tratamento do pó de serra	43
3.1.2	Caracterização física do pó de serra	44
3.1.3	Classificação granulométrica do pó de serra	44
3.1.4	Determinação do teor de umidade do pó de serra	45
3.1.5	Determinação da massa unitária do pó de serra no estado seco e solto	45
3.1.6	Determinação da massa unitária do pó de serra no estado seco e compactado	46
3.1.7	Determinação da massa específica real do agregado por meio do frasco de Chapman	47
3.2	Agregados convencionais	48
3.2.1	Agregado miúdo A	48
3.2.2	Agregado B (Composição entre areia fina e pedrisco)	49
3.2.3	Agregado graúdo C	50
3.3	Aglomerante - Cimento Portland	50
3.4	Água	51
3.5	Produção dos blocos de concreto (corpos-de-prova)	51
3.6	Constituição das misturas utilizadas na produção dos blocos de concreto.	52
3.6.1	Mistura A	54
3.6.2	Mistura B	55
3.6.3	Mistura C	56
3.7	Ensaio dos blocos de concreto utilizados no estudo	57
3.7.1	Ensaio de resistência à compressão	57
3.7.2	Ensaio de umidade, absorção e área líquida dos blocos	58
3.7.2.1	Determinação do teor de umidade	60

3.7.2.2	Determinação da absorção de água	60
3.7.2.3	Determinação da área líquida	60
3.8	Elementos de enchimento das pré-lajes	61
3.9	Determinação da resistência térmica pelo método fluximétrico	61
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	65
4.1	Caracterização do pó de serra	65
4.2	Determinação do teor de umidade do pó de serra	66
4.3	Determinação da Massa unitária do pó de serra	66
4.4	Determinação da massa específica do pó de serra pelo frasco de Chapman	67
4.5	Determinação das propriedades dos blocos de concreto das misturas propostas	68
4.5.1	Resultados obtidos para a mistura A	69
4.5.2	Resultados obtidos para a mistura B	70
4.5.2.1	Determinação da massa, teor de umidade, absorção de água, área líquida e resistência à compressão dos blocos de concreto – Mistura B	70
4.5.3	Resultados obtidos para a mistura C	76
4.5.3.1	Proporcionamento dos materiais utilizadas na mistura C para a produção do bloco de concreto de referência.	77
4.5.3.2	Determinação da massa, teor de umidade, absorção de água, área líquida e resistência à compressão dos blocos de concreto	81
4.5	Condutividade térmica	89
4.6	Discussão dos resultados	90
5	CONCLUSÕES	97
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
	ANEXOS	107
	Anexo A	107
	Anexo B	116

## LISTA DE TABELAS

	Página	
Tabela 2.1	Classificação dos resíduos sólidos - NBR-10004 (ABNT, 1987)	7
Tabela 2.2	Características Físicas e Mecânicas das Fibras Vegetais	9
Tabela 2.3	Propriedades do concreto endurecido para blocos (TANGO, 1984)	24
Tabela 2.4	Recomendações de traços para blocos de concreto para alvenaria de vedação	29
Tabela 2.5	Granulometria do agregado miúdo	31
Tabela 2.6	Granulometria do agregado graúdo (brita 0)	31
Tabela 2.7	Granulometria da mistura	32
Tabela 2.8	Traços piloto de cimento: agregado para a produção de blocos de concreto	34
Tabela 2.9	Dimensões nominais dos blocos de vedação - Unid.: cm	36
Tabela 2.10	Condutividade térmica de argamassa com pó de serra	41
Tabela 2.11	Condutividade térmica em argamassa de cimento e areia (cimento: CPII-E 32)	41
Tabela 3.1	Dimensões do recipiente – massa unitária no estado seco e solto	46
Tabela 3.2	Dimensões do recipiente - massa unitária no estado seco e compactado	47
Tabela 3.3	Ensaio de caracterização do agregado miúdo A	49
Tabela 3.4	Ensaio de caracterização do agregado B	49
Tabela 3.5	Ensaio de caracterização do agregado graúdo C	50
Tabela 3.6	Mistura A utilizada na produção de blocos de vedação (14x19x39)cm	55
Tabela 3.7	Mistura B utilizada na produção de blocos de vedação (14x19x39)cm	55
Tabela 3.8	Mistura C utilizada na produção de blocos de vedação (14x19x39)cm	56
Tabela 3.9	Mistura C utilizadas na produção de blocos de vedação (14x19x39)cm	57
Tabela 4.1	Resultados do ensaio de caracterização do pó de serra	65

Tabela 4.2	Determinação do teor de umidade do pó de serra	66
Tabela 4.3	Determinação da massa unitária do pó de serra	66
Tabela 4.4	Leitura dos ensaios de massa específica absoluta – Frasco de Chapman	67
Tabela 4.5	Resistência à compressão corpos-de-prova (5x10)cm – Mistura A	69
Tabela 4.6	Resultados da resistência à compressão e massa (seco em ambiente de laboratório) dos blocos de concreto – Mistura A	69
Tabela 4.7	Resultados individuais obtidos nos ensaios do teor de umidade dos blocos de concreto, comparados com o limite estabelecido pela NBR– 7173 (ABNT, 1982)	71
Tabela 4.8	Resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto, comparados com o limite individual estabelecido pela NBR 7173 (ABNT, 1982)	72
Tabela 4.9	Média dos resultados obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto, comparados com o limite estabelecido pela NBR – 76173 (ABNT, 1982)	73
Tabela 4.10	Resultados obtidos nos ensaios da área líquida conforme a NBR- 7173(ABNT,1982)	74
Tabela 4.11	Resultados obtidos nos ensaios da resistência à compressão e massa (seco em ambiente de laboratório) dos blocos de concreto.	75
Tabela 4.12	Distribuição granulométrica do agregado miúdo A (areia )	79
Tabela 4.13	Distribuição granulométrica do agregado graúdo C (brita 0)	79
Tabela 4.14	Granulometria e módulo de finura do concreto de referência	80
Tabela 4.15	Resultados individuais obtidos nos ensaios do teor de umidade dos blocos de concreto, comparados com o limite estabelecido pela NBR – 7173 (ABNT, 1982)	82
Tabela 4.16	Resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto, comparados com o limite individual estabelecido pela NBR 7173 (ABNT, 1982)	84
Tabela 4.17	Média dos resultados obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto, comparados com o limite médio estabelecido pela NBR7173 (ABNT, 1982)	85

Tabela 4.18	Média dos resultados obtidos nos ensaios da área líquida dos blocos de concreto conforme estabelece a norma da NBR 7173 (ABNT, 1982)	86
Tabela 4.19	Resultados obtidos nos ensaios da resistência à compressão e massa (seco em ambiente de laboratório) dos blocos de concreto	87
Tabela 4.20	Resultados da condutividade térmica dos traços selecionados entre as misturas estudadas.	89
Tabela 4.21	Resultados da resistência à compressão, condutividade térmica, resistência térmica e massa dos blocos para os traços selecionados entre as misturas estudadas.	90

### **Relação das Tabelas constantes no anexo A**

Tabela 1.A	Distribuição granulométrica do agregado miúdo A	107
Tabela 2.A	Distribuição granulométrica do agregado B	108
Tabela 3.A	Distribuição granulométrica do agregado graúdo C	108
Tabela 4.A	Distribuição granulométrica do pó de serra (média de três ensaios)	109
Tabela 5.A	Resultados da massa m1, m2, m3 e m4 dos blocos – Mistura B	109
Tabela 6.A	Resultados da massa m1, m2, m3 e m4 dos blocos – Mistura C	110
Tabela 7.A	Resultados obtidos nos ensaios para a determinação da área líquida dos blocos – Mistura C – NBR 7173 (ABNT, 1982)	111
Tabela 8.A	Ensaio de inchamento do pó de serra	112
Tabela 9.A	Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico (c) de materiais	113

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Gráfico comparativo entre os coeficientes de absorção acústica das placas confeccionadas com argamassa de pó de serra e alguns materiais reflexivos.	14
Figura 2.2 Gráfico comparativo entre os coeficientes de absorção acústica das placas confeccionadas com argamassa de pó de serra e alguns materiais absorvedores.	14
Figura 2.3 Gráfico comparativo entre os coeficientes de absorção acústica das placas confeccionadas com argamassa de pó de serra e tacos de madeira colados	15
Figura 2.4 Ensaio de Abatimento do concreto fresco	17
Figura 2.5 Sequência de funcionamento de uma vibro-prensa	39
Figura 3.1 Vibro-prensa da marca BARRAL	51
Figura 3.2 Retirada dos blocos da vibro-prensa	54
Figura 3.3 Princípio do método de medição da resistência térmica	62
Figura 3.4 Esquema geral – Método fluximétrico	64
Figura 4.1 Média dos resultados obtidos nos ensaios da massa dos blocos de concreto	70
Figura 4.2 Resultados individuais obtidos no ensaio do teor de umidade dos blocos de concreto, comparados com o limite estabelecido pela NBR – 7173 (ABNT,1982)	71
Figura 4.3 Resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto, comparados com o limite individual estabelecido pela NBR - 7173 (ABNT,1982)	72

Figura 4.4	Média dos resultados obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto, comparados com o limite médio estabelecido pela NBR - 7173 (ABNT, 1982)	73
Figura 4.5	Resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos blocos de concreto, comparados com o estabelecido pela NBR - 7173 (ABNT, 1982)	75
Figura 4.6	Média dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos corpos-de-prova comparados com o estabelecido na NBR 7173 (ABNT, 1982)	76
Figura 4.7	Gráfico das granulometrias do agregado miúdo, agregado graúdo e mistura encontrada ( M.F. 3,74 )	80
Figura 4.8	Média dos resultados obtidos nos ensaios da massa dos blocos de concreto	81
Figura 4.9	Resultados individuais obtidos nos ensaios do teor de umidade dos blocos de concreto, comparados com o limite estabelecido pela NBR – 7173 (ABNT,1982)	83
Figura 4.10	Resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto, comparados com o limite individual estabelecido pela NBR 7173 (ABNT,1982)	84
Figura 4.11	Média dos resultados obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto, comparados com o limite médio estabelecido pela NBR 7173 (ABNT, 1982)	85
Figura 4.12	Média dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos blocos de concreto comparados com o estabelecido pela NBR- 7173 (ABNT,1982)	88
Figura 4.13	Resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos blocos de concreto comparados com o estabelecido pela NBR-7173 (ABNT,1982)	88
Figura 4.14	Resultados comparativos entre a condutividade térmica, resistência térmica, massa e resistência à compressão dos blocos de concreto selecionados	91

Figura 4.15	Análise comparativa – Resistência média à compressão, massa $m_3$ e relação água/cimento dos blocos de concreto – Mistura C	94
Figura 4.16	Análise comparativa – Absorção de água para os traços da mistura C e o traço da mistura A (argamassa de cimento: pó de serra)	94
Figura 4.17	Laje nervurada com pré-laje treliçada e elementos de enchimento.	96
Figura 4.18	Análise comparativa – condutividade térmica e massa unitária entre argamassa de pó de serra, lajota cerâmica e poliestireno extrudado (Isopor)	96
Figura 1.B	Bloco de concreto com pó de serra (Traço em massa 1:0,4)	116
Figura 2.B	Bloco de concreto com adição de pó de serra	117

## **LISTA DE SIGLAS**

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Norma Técnicas
ACI	American Concrete Institute
AFNOR	Association Française de Normalisation
ASTM	American Society for Testing and Materials
CE-02:135.07	Comissão de Estudos de Desempenho Térmico para Edificações
CP V - ARI	Cimento Portland tipo V de alta resistência inicial
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FEAGRI	Faculdade de Engenharia Agrícola
MF	Módulo de finura
NBR	Norma Brasileira Registrada
RILEM	International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
WFRC	Wood Fiber Reinforced Cement

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\lambda$	Coefficiente de condutividade térmica (W/.m.K)
$e$	Espessura da amostra (m)
$q_1, q_2$	Densidade de fluxo de calor medido pelos fluxímetros 1 e 2 (W/m <sup>2</sup> )
$T_1, T_2$	Temperaturas superficiais da amostra (K)
$r$	Resistência térmica (m <sup>2</sup> .K/W)
$\rho$	Densidade de massa aparente (kg/m <sup>3</sup> )
$c$	Calor específico (kJ/kgK)
$\Delta T$	Diferença de temperatura entre as faces da amostra (K)
$u$	Teor de umidade (%)
$a$	Absorção de água (%)
$m_u$	Massa úmida do pó de serra (gramas)
$m_s$	Massa seca do pó de serra (gramas)
$\gamma_a$	Massa específica absoluta (kg/dm <sup>3</sup> )
$L$	Leitura do frasco de Chapman
$\gamma_{ss}$	Massa unitária no estado seco e solto (kg/dm <sup>3</sup> )
$\gamma_{sc}$	Massa unitária no estado seco e compactado (kg/dm <sup>3</sup> )
$h$	Altura média do bloco de concreto medida na direção perpendicular à seção de trabalho
$m_1$	Massa seca dos blocos de concreto (kg)
$m_2$	Massa saturada dos blocos de concreto (kg)
$m_3$	Massa dos blocos de concreto seco ao ar (kg)
$m_4$	Massa aparente dos blocos de concreto (kg)

## RESUMO

Dantas Filho, Flavio Pedrosa. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural.** Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 2004, 117 pág. Dissertação.

A preocupação com o grave problema da geração de resíduos na construção civil e na indústria vem, cada vez mais, despertando a conscientização da necessidade de realização de estudos com vistas a melhorar o ciclo de produção e adequar a destinação dos resíduos gerados. Neste sentido, a reciclagem se apresenta como uma grande alternativa. Este trabalho visa a reciclagem do pó de serra da indústria madeireira que é um resíduo indesejável, tendo atualmente como única opção de uso, sua queima ou descarte final. A reciclagem deste material, vem contribuir para a formação de uma nova matéria-prima, possibilitando sua utilização como material de construção civil. É estudada a influência de diferentes teores da adição do pó de serra tratado em substituição parcial ao agregado miúdo mineral na fabricação de blocos de concreto para alvenaria de vedação e como elementos de enchimento para pré-lajes. Determinou-se a resistência à compressão, teor de umidade, absorção de água, área líquida e condutividade térmica para vários teores de pó de serra em substituição parcial e total ao agregado miúdo mineral. A análise dos resultados permite concluir que a utilização do pó de serra como agregado miúdo na confecção dos blocos de concreto até 50% em volume aumentou a resistência térmica com redução de peso, atendendo as prescrições da norma para alvenaria de vedação. Também, observa-se uma diminuição da resistência à compressão em relação ao bloco de concreto de referência. A utilização da argamassa de cimento e pó de serra como elementos de enchimento para pré-lajes, atendeu às normas brasileiras. É possível concluir, ainda, que a utilização do pó de serra em substituição parcial ou total ao agregado miúdo mineral, contribui para um programa de reciclagem, diminuindo a demanda do agregado miúdo para a confecção dos blocos de concreto e elementos de enchimento das pré-lajes.

**Palavras-chave:** Pó de serra, blocos de concreto, reciclagem, condutividade térmica.

## **ABSTRACT**

Dantas Filho, Flavio Pedrosa. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural.** Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 2004, 117 pág. Dissertação.

Concern with residue from the construction industry calls upon the need for studies aiming to optimize production cycle as well as to better dispose of such residues. Evidently, recycling is certainly an excellent option. The work herein described concerns recycling of sawdust, a very undesirable residue generated by wood industries, which nowadays can only be disposed of by burning or dumping. Recycling such material engenders a new product to be used in building construction. It is studied the influence of different quantities of sawdust, partially substituting fine aggregate mineral, used to produce hollow concrete masonry blocks and elements for precast plank. Their compression load capacity, humidity, water absorption factor, net area and thermal conductivity were determined. Final results analysis leads to the conclusion that employing sawdust, up to 50% in volume, to produce concrete blocks increases their thermal isolation capacity besides reducing their total weight. However, a reduction on their compression loads capability was observed, as compared to the reference concrete blocks. Utilization of mortar of cements and sawdust as filling elements for precast plank, satisfies the brasilian norms. Thus, it is possible to conclude that the use of sawdust in partial or total substitution of the fine aggregate, contributes towards a recycling program, reducing the need for fine aggregate to produce concrete blocks and filling elements for precast plank.

**Key-words:** Sawdust, concrete blocks, recycling, thermal conductivity

# 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem sido crescente a preocupação com a preservação do meio ambiente. Um exemplo do impacto desta política na construção civil é dado por METHA (1993), quando, para avaliar o futuro do concreto, inclui considerações econômicas, energéticas e ambientais.

Atualmente várias empresas investem cada vez mais em equipamentos e formação de quadros técnicos para eliminar ou minimizar a cultura do desperdício e consolidar a cultura da redução de perdas e reciclagem dos resíduos. Não só porque os resíduos provocam impactos ambientais negativos, como também a sua redução e aproveitamento podem minimizar o consumo de recursos naturais e energéticos.

A construção civil é um dos setores que provocam maior impacto ambiental devido ao elevado consumo de matéria-prima. De acordo com JOHN (2000) a construção civil utiliza entre 14% a 50% dos recursos naturais que são extraídos da terra.

Neste contexto, tem aumentado o interesse pela reciclagem de resíduos diversos, como o pó de serra da indústria madeireira, tendo como única opção de uso, sua queima ou descarte final. Sabe-se que a combustão do pó de serra resulta na retirada de oxigênio da atmosfera, na liberação de vapor de água e do gás carbônico, agravando ainda mais a poluição ambiental.

Segundo GRANDI (1995) a utilização do pó de serra como agregado miúdo em blocos de concreto e em argamassas visa melhorar o conforto ambiental da edificação e dá ao resíduo um destino mais nobre que a combustão.

Assim sendo, a recuperação dos resíduos da indústria madeireira na forma de pó de serra é uma forma mais atraente de solucionar o problema do destino final dos resíduos, tanto do ponto de vista comercial como do ponto de vista ambiental.

O bloco de concreto pode ser definido como a unidade de alvenaria constituída pela mistura homogênea, adequadamente proporcionada, basicamente composta de cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo e água, moldada através de vibração e prensagem.

O emprego de blocos de concreto para alvenaria de vedação em detrimento dos cerâmicos justifica-se não só pelo esgotamento das jazidas de argila para a produção de blocos cerâmicos e aprimoramento das leis ambientais que tem inibido o desmatamento de reservas florestais nativas para produção de lenha, que é o principal combustível da indústria cerâmica mas, também, pelas vantagens técnicas dos blocos de concreto como:

- Sua precisão dimensional;
- Diversidade de peças;
- Possibilidade de dosagem racional para alcance de resistências especificadas em projeto com grande precisão e baixa variabilidade;
- Disponibilidade de matérias-primas em praticamente todos os locais;
- Peças que possibilitam a passagem de instalações elétricas e hidráulicas.

## 1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é estudar a viabilidade técnica da utilização do pó de serra na fabricação de blocos de concreto para alvenaria e blocos de enchimento de lajes nervuradas e pré-moldadas.

Os objetivos específicos são os seguintes:

- Aplicar a metodologia do concreto “seco” para as misturas com adição do pó de serra;
- Definir e realizar ensaios que possam avaliar os blocos na qual será utilizada o pó de serra, no que se refere às características mecânicas, absorção de água e de condutividade térmica para serem utilizados como blocos de vedação;
- Desenvolver um tipo de bloco que permita associar à função de vedação o conforto térmico e a leveza.
- Desenvolver elementos de enchimento de pré-lajes em vibro-prensas atendendo as normas técnica da ABNT;
- Utilizar o resíduo da indústria madeireira no caso o pó de serra, levando em consideração potencialidades do ponto de vista do impacto ambiental.

## **1.2 Estrutura da pesquisa**

Este trabalho encontra-se estruturado em cinco capítulos, sendo este a introdução que tem um caráter geral de apresentação do tema, onde estão inseridos os objetivos da pesquisa.

O capítulo 2, compreende a revisão bibliográfica sobre o tema, destacando-se os fatores considerados importantes no processo de produção de blocos de concreto e aspectos relativos a utilização do pó de serra como agregado miúdo.

Os materiais e métodos são abordados no capítulo 3, onde se apresentam as variáveis de estudo, os ensaios de caracterização dos materiais e os procedimentos de ensaios empregados na avaliação das propriedades do concreto para blocos.

O capítulo 4, apresenta os resultados obtidos no programa experimental e suas discussões, considerando as diferentes misturas utilizadas no estudo.

Finalizando, chega-se às conclusões da presente dissertação e sugestões de aplicações para o material estudado.

Nos Anexos são apresentados os resultados de caracterização dos materiais utilizados e as figuras que ilustram o trabalho.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O concreto e o concreto armado são sem dúvida materiais do mais importantes da engenharia civil e tem merecido enorme atenção por parte de pesquisadores em todo o mundo. No entanto, embora otimizadas do ponto de vista estrutural, estas estruturas são sensíveis ao efeito térmico, isto é, tem baixa resistência térmica, gerando nas edificações um maior consumo de energia para a retirada do calor.

De acordo com ARAUJO (2001), o conforto térmico merece atenção especial, devido a crise energética mundial. Neste sentido procura-se conciliar economia e conforto ao indivíduo, o que leva ao aprimoramento dos conhecimentos tecnológicos, bem como ao desenvolvimento de novos materiais e sistemas construtivos.

Segundo STANCATO; BURKE e PAULON (2001) o resíduo vegetal denominado pó de serra é constituído de material proveniente de fontes renováveis, que sendo utilizado na substituição parcial da areia contribui para um programa específico de reciclagem, diminuindo a demanda de agregado miúdo para a fabricação de concreto e argamassa, tornando estes compostos mais isolantes termicamente, em função da baixa condutividade térmica da madeira.

## 2.1 O pó de serra como resíduo sólido

O resíduo pode ser considerado qualquer material que sobra após uma ação ou processo produtivo. Diversos tipos de resíduos (sólidos, líquidos e gasosos) são gerados nos processos de extração e transformação de recursos naturais, de fabricação, de utilização de produtos e serviços.

De acordo com CINCOTTO (1988), estudos desenvolvidos pela RILEM (1994) - *Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et Matériaux* estabeleceram uma proposta de critério geral de avaliação do resíduo para uso na construção civil, a saber:

a) a quantidade de resíduo disponível deve ser suficientemente grande para justificar o desenvolvimento de sistemas de manuseio, processamento e transporte;

b) as distâncias de transporte envolvidas devem ser compatíveis com as dos materiais convencionais;

c) o material não deve ser potencialmente nocivo durante a construção ou posteriormente à sua incorporação ao produto final.

Já a norma brasileira NBR 10004 (ABNT, 1987) define os resíduos sólidos como sendo os resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultem de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, e de serviços de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviáveis o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

A Tabela 2.1 mostra a classificação dos resíduos conforme as normas NBR-10004 (ABNT, 1987).

Tabela 2.1 – Classificação dos resíduos sólidos - NBR-10004 (ABNT, 1987)

CLASSIFICAÇÃO	DEFINIÇÃO
Resíduo classe I Perigosos	São aqueles que apresentam periculosidade ou uma das características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade.
Resíduo classe II Não-inertes	São aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou classe III, nos termos desta norma. Os resíduos classe II, podem ter propriedades, tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
Resíduo classe III Inertes	Quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, segundo as normas da ABNT (NBR 10007) – Amostragem de resíduos, e submetidos a um estado estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme teste de solubilização, segundo norma técnica da ABNT (NBR-10006) – Solubilização de resíduos, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se os padrões de aspectos, cor, turbidez e sabor.

Fonte: ABNT, 1987

O material pesquisado neste trabalho é classificado como resíduo classe II conforme norma técnica NBR-10004 (ABNT, 1987).

## 2.2 Materiais cimentícios reforçados com fibras vegetais

De acordo com GUIMARÃES (1990) os primeiros trabalhos no Brasil empregando fibras como materiais de reforço do compósito cimentício foram realizados a partir de 1980, no Centro de Pesquisa do Governo do Estado da Bahia, utilizando materiais naturais como as fibras vegetais provenientes das culturas de sisal, piaçava, coco, bambu e cana-de-açúcar, originários da região nordeste.

COUTTS (1992) utilizou a abreviação WFRC (*wood fiber reinforced cement*) para designar os produtos de cimento reforçados com fibras, sendo as fibras elementos individuais primários, diferentes de “partículas”.

MOSLEMI (1974) define “partícula” como um termo genérico para todos os elementos ligno-celulósicos com os quais é feito a chapa de aglomerado.

BERALDO (1994) relata que o compósito obtido a partir de produtos à base de cimento e partículas de madeira tornou-se de interesse comercial nos anos trinta, com a fabricação de painéis leves cujo ligante era o cimento magnésiano. Esses painéis eram conhecidos por “Excelsius” (USA) ou “Heraklit” (Europa). Ainda segundo BERALDO (1994), a literatura não modifica a terminologia em função das diferentes formas e dimensões dos constituintes, motivo pelo qual muitas vezes, leva ao emprego incorreto do termo “fibra” para designar um fragmento de madeira.

AGOPYAN (1991), em seu trabalho a respeito do emprego de fibras vegetais como reforço de matrizes frágeis, relacionou 19 fibras potencialmente úteis para a construção civil.

A partir das propriedades mecânicas (resistência à tração, módulo de elasticidade e alongamento na ruptura), características físicas, relação entre comprimento e diâmetro, possibilidade de cultivo no Brasil, custo e durabilidade no ambiente natural, AGOPYAN (1991) selecionou algumas fibras como as mais adequadas.

A Tabela 2.2 a seguir apresenta a compilação de características de fibras vegetais segundo AGOPYAN (1991).

Tabela 2.2 - Características Físicas e Mecânicas das Fibras Vegetais

Propriedades	Massa Esp. Real (kg/m <sup>3</sup> )	Absorção máxima (%)	Alongamento na ruptura (%)	Resist. á Tração (MPA)	Módulo de elasticidade ( Gpa)
Coco (cocos Nucifera)	1177	93,8	23,9 a 51,4	95 a 118	2,8
Sisal (Agave sisalana)	1370	110	4,9 a 5,4	347 a 378	15,2
Malva (Urena lobata)	1409	182,2	5,2	160	17,4
Celulose para papel imprensa (pinus elliotti-princ.)	1200 a 1500	400	nd	300 a 500	10 a 40
Bambu (Banbusa Vulgaris)	1158	145	3,2	73 a 505	5,1 a 24,6
Juta (Corchorus capsulanic)	Nd	214	3,7 a 6,5	230	nd
Piçava (Attalea funifera)	1054	34,4 a 108	6	143	5,6
Banana (Musa cavendishii)	1031	407	2,7	384	20 a 51
Amianto crisotila	2200 a 2600	-	2	560 a 750	164

Fontes: AGOPYAN (1991)

nd: informação não disponível

As fibras vegetais são fibras de baixo módulo de elasticidade e elevada resistência à tração. Seu emprego como reforço proporciona às matrizes cimentícias maior resistência ao impacto, causada por maior absorção de energia, possibilidade de trabalho no estágio pós fissurado e um aumento na capacidade de isolamento termo-acústico, segundo SAVASTANO JUNIOR. et al (1997).

### **2.3 Durabilidade dos compósitos com fibras vegetais**

As fibras vegetais contêm hemicelulose, amidos, açúcares, taninos, fenóis e ligninas. Todos são conhecidos como inibidores da pega normal e do desenvolvimento das propriedades de resistência da matriz de cimento.

SAVASTANO JUNIOR (2000) afirma que a avaliação da durabilidade é de suma importância no que diz respeito a novos materiais na construção civil. Em compósitos formados por matrizes frágeis e fibras vegetais, dois fatores são determinantes: o ataque alcalino às fibras e a incompatibilidade entre fibras e matrizes. Ainda segundo SAVASTANO JUNIOR (2000) a principal fonte de degradação de vegetais no ambiente natural, o ataque biológico através de fungos xilófagos, não representa maiores preocupações, porque as matrizes empregadas apresentam pH alcalino capaz de inibir sua ação.

Segundo GRAM e NIMITYONGSKUL (1987), o meio alcalino da matriz de cimento e principalmente a influência da umidade ambiente limitam a vida útil dos elementos produzidos à base de elementos vegetais.

SAVASTANO e AGOPYAN (1999) também relatam que as fibras vegetais sofrem grande influência das intempéries e da alcalinidade do meio a que estão expostas, por causa da decomposição química da lignina e da hemicelulose presentes na lamela intermolecular, o que reduz a capacidade de reforço das fibras individuais (células). Fibras de cisal e coco chegam a apresentar até 50% de perda da resistência à tração, imersas em solução de hidróxido de cálcio (pH igual ou superior a 12) durante 28 dias.

Para controle da degradação dos compósitos, diversas soluções são possíveis de acordo com JOHN e AGOPYAN (1993):

- Emprego de matrizes de baixa alcalinidade, com pH da água do poro inferior ao do cimento Portland comum, como o gesso e os cimentos especiais (cimentos com escória de alto forno - baixa alcalinidade).
- Redução da alcalinidade, por carbonatação acelerada da matriz.
- Proteção das fibras com polímeros, hidro repelentes (resinas e asfaltos), ou ainda agentes bloqueadores da reação de decomposição das fibras, como silicatos e sulfatos de sódio e magnésio.
- Emprego de compósitos em locais permanentemente secos.

O tratamento para melhorar a compatibilidade entre as partículas vegetais e o cimento segundo BERALDO e ARZOLLA (1999) é o seguinte:

- maturação da madeira ou das partículas: a estocagem da madeira ou das partículas vegetais pode provocar o desencadeamento de ações microbiológicas, que tornam a matéria-prima vegetal mais compatível com o cimento. Por requerer tempo relativamente longo para que logre êxito, não tem merecido atenção dos usuários.
- extração em meio aquoso: a lavagem simples em água corrente, ou em água quente, permite eliminar parcialmente certas substâncias que são nocivas ao cimento. No caso de partículas de bambu, e de várias madeiras, recomenda-se o cozimento durante 1 a 2 horas, à temperatura de 60 a 80°C ou de 12 a 24 horas em água fria. As partículas vegetais são, a seguir, lavadas em água corrente, e postas a secar ao sol.
- cimento de alta resistência inicial (tipo CP V – ARI): no caso de aplicações industriais, torna-se, às vezes, mais econômico, a substituição do cimento Portland tipo CPII - E 32 ou CPIII 32 por cimento mais tolerável à presença das partículas vegetais.

- uso de aceleradores: também para aplicações industriais pode-se adicionar à água de amassamento, cerca de 3% de cloreto de cálcio (ou outro acelerador). Pode-se evitar, deste modo, a necessidade de lavagem de certas partículas vegetais.

- mineralização: resultados interessantes têm sido obtidos com o tratamento das partículas vegetais, constando de imersão em solução de silicato de sódio (5%), seguida da imersão em sulfato de alumínio (30%). As partículas vegetais ficam recobertas por uma camada impermeável que impede que as substâncias nocivas ao cimento migrem para a superfície. Este é o procedimento mais adequado para a utilização industrial do bloco de concreto com partículas vegetais.

- carbonatação artificial: o endurecimento de materiais à base de cimento Portland realiza-se ao ar, com presença de baixa concentração de gás carbônico (0,03%). A colocação do bloco de concreto com partículas vegetais em ambientes com alta concentração de gás carbônico pode favorecer a pega e o endurecimento do cimento, permitindo a desmoldagem precoce dos materiais. Materiais desmoldados podem apresentar melhoria em suas características físico-mecânicas devido à ação do gás carbônico, após um tempo “ótimo” de cura.

- As partículas vegetais lavadas podem receber pulverização (betume diluído, neutro), tornando-se menos suscetíveis à ação da água. Cuidados devem ser tomados, pois uma pulverização excessiva das partículas pode prejudicar a resistência do concreto.

Ainda de acordo com BERALDO ([www.agr.unicamp.br/biokreto/index.html](http://www.agr.unicamp.br/biokreto/index.html)) placas fabricadas com partículas vegetais na FEAGRI (Faculdade de Engenharia Agrícola) em 11/94, e expostas ao tempo até 21/03/2004, não apresentaram quaisquer sinais de ataques de fungos e insetos.

O ajuste granulométrico das partículas vegetais segundo BERALDO ([www.agr.unicamp.br/biokreto/index.html](http://www.agr.unicamp.br/biokreto/index.html)) depende da natureza das mesmas; algumas podem ser utilizadas diretamente como a casca de arroz, enquanto outras como o bambu ou outros tipos de madeira devem ser trituradas. Estas partículas vegetais dependendo das dimensões da peça a ser concretada podem variar de 2 a 15 mm de comprimento.

A dosagem em volume recomendada por BERALDO ([www.agr.unicamp.br/biokreto/index.html](http://www.agr.unicamp.br/biokreto/index.html)) para a fabricação de blocos vazados e pisos, situa-se nas faixas 1 : 4 : 3 : x a 1: 3 : 2 : x (cimento: areia: partículas vegetais). A quantidade de água (x) deve ser determinada experimentalmente em cada situação dependendo das umidades da areia e das partículas vegetais.

Segundo GRANDI (1991), foram obtidos melhores valores de resistência à compressão do compósito (cimento e pó de serra), com tratamento do pó de serra em solução alcalina, quando comparado às amostras sem lavagem. O tratamento realizado tem como finalidade a redução ou eliminação das substâncias que inibem a pega do cimento e interferem no processo de hidratação.

## **2.4 Coeficiente de absorção sonora de argamassas com o pó de serra**

Um dos parâmetros mais utilizados na adequação acústica de salas é o tempo de reverberação, que depende do volume do ambiente e da absorção sonora das superfícies e objetos que o compõe. A grandeza física que caracteriza a absorção dos materiais é o coeficiente de absorção sonora.

Segundo BERTOLI e BRITO (2003) a adição de materiais reciclados como o pó de serra na composição do traço de materiais de acabamento pode melhorar a absorção sonora desses materiais.

As Figuras 2.1, 2.2 e 2.3 a seguir mostram os coeficientes de absorção acústica das placas confeccionadas com argamassa de cimento e pó de serra no traço 1:0,4:0,88 (cimento Portland CII - E 32, pó de serra e massa de água em relação a massa de cimento) proposto por GRANDI (1995) e alguns materiais usuais na construção civil.

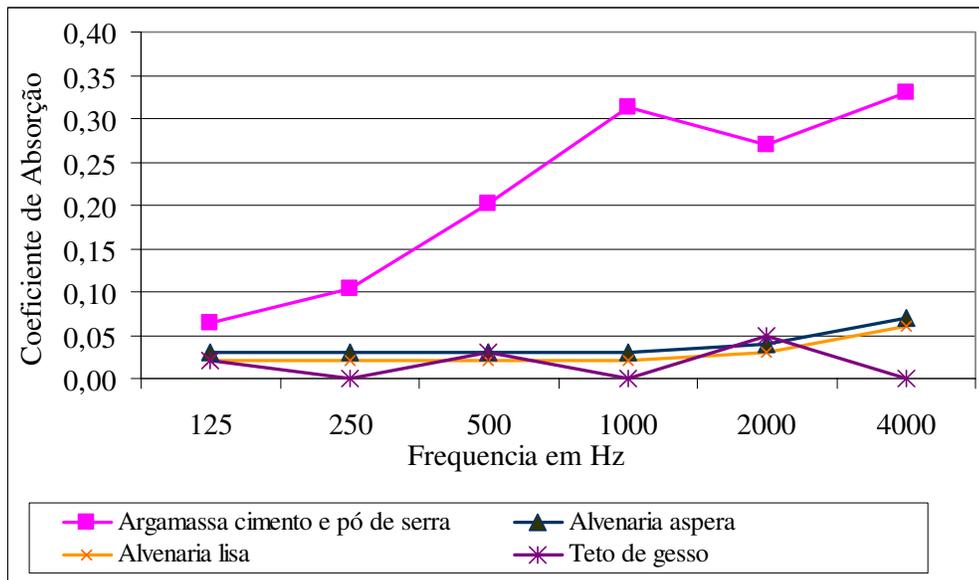


Figura 2.1 - Gráfico comparativo entre os coeficientes de absorção acústica das placas confeccionadas com argamassa de pó de serra e alguns materiais reflexivos (BERTOLI e BRITO, 2003)

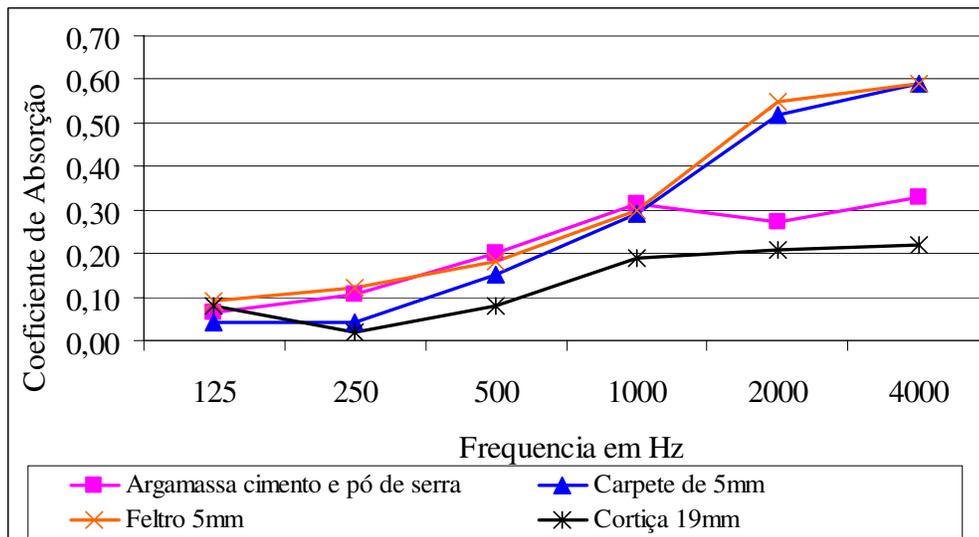


Figura 2.2 - Gráfico comparativo entre os coeficientes de absorção acústica das placas confeccionadas com argamassa de pó de serra e alguns materiais absorvedores (BERTOLI e BRITO, 2003)

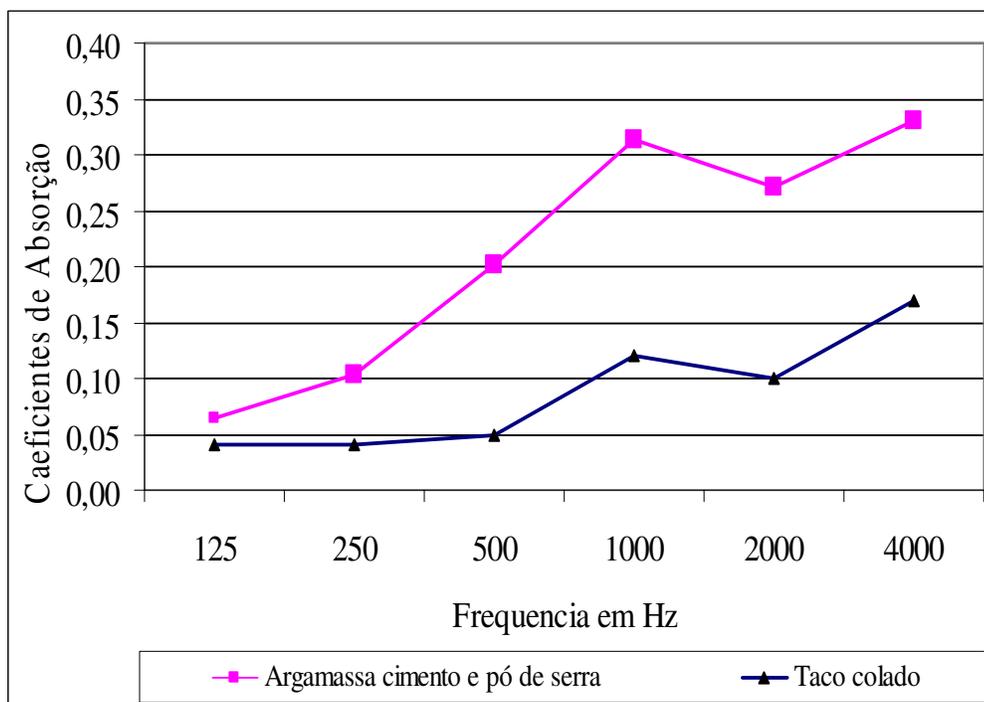


Figura 2.3 - Gráfico comparativo entre os coeficientes de absorção acústica das placas confeccionadas com argamassa de pó de serra e tacos de madeira colados (BERTOLI e BRITO,2003)

## 2.5 Aspectos tecnológicos do concreto utilizado em blocos de concreto

Segundo FRASSON JUNIOR (2000) cada tipo de concreto possui características próprias, mas podem ser classificados dentro de dois grupos, de acordo com seu comportamento: os concretos plásticos e os concretos “secos”. Para a fabricação dos blocos de concreto utiliza-se o concreto “seco”

## **2.5.1 Concretos plásticos**

Os concretos plásticos são conhecidos por formarem, após misturados e homogeneizados agregados e aglomerantes, uma massa facilmente adensável. Esta característica permite que estes concretos sejam transportados e lançados até os locais onde serão aplicados.

Segundo FRASSON JUNIOR (2000) o excesso de água, necessário para proporcionar a consistência desejada ao concreto, além daquela necessária à hidratação dos cimentos, dá origem a poros que fazem diminuir a resistência dos concretos. Este fato faz com que a resistência do material se relacione diretamente com a relação água/cimento através de uma expressão matemática empírica conhecida como a Lei de Abrams.

Os concretos plásticos obedecem a uma segunda lei conhecida como “Lei de Lyse”, onde: “A quantidade de água a ser empregada em um concreto com um determinado grupo de materiais (mesmo cimento, agregado miúdo e graúdo), para obter-se uma dada trabalhabilidade, é praticamente constante e independe do traço deste concreto”. Na prática, para um dado grupo de materiais, existe uma relação água/materiais secos (H) constante para obter-se uma dada trabalhabilidade.

Esta relação água/materiais secos (H) está relacionada à dimensão máxima característica do agregado graúdo e da forma de adensamento a que o concreto estará sujeito na obra. Normalmente, estes valores variam de 7,5 a 11,5%.

### **2.5.1.1 Propriedades do concreto no estado fresco**

Durante o tempo em que o concreto permanece plástico, as características mais importantes são: a consistência, a coesão e a homogeneidade, que combinadas recebem o nome de trabalhabilidade.

Segundo ALMEIDA (2002) a consistência traduz as propriedades intrínsecas da mistura fresca relacionadas com a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos componentes, tendo em vista a uniformidade e a compacidade do concreto. As operações de transporte, lançamento e adensamento do concreto devem permitir a obtenção de uma massa homogênea com um mínimo de vazios.

NEVILLE (1997) define trabalhabilidade como sendo “a propriedade do concreto ou da argamassa recém-misturados, que determina a facilidade e a homogeneidade com a qual podem ser misturados, lançados, adensados e acabados”.

A trabalhabilidade, segundo RILEM (1984), é uma propriedade complexa e de avaliação subjetiva, sendo resultado da conjugação de diversas outras propriedades do material fresco, tais como: plasticidade, consistência, retenção de água, exsudação de água, massa específica, coesão interna, adesão e velocidade de endurecimento.

Nenhum ensaio é capaz de fornecer uma avaliação completa da trabalhabilidade do concreto. O ensaio mais conhecido, que mede a consistência do concreto, é o denominado ensaio de abatimento do tronco de cone, mais conhecido como ensaio de abatimento do concreto (ABNT, 1992) mostrado na Figura 2.4.

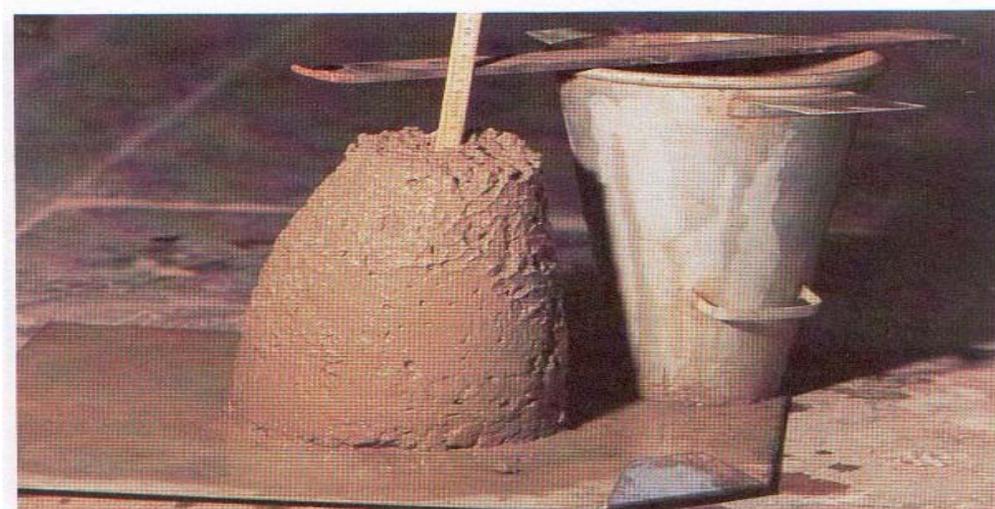


Figura 2.4 – Ensaio de Abatimento do concreto fresco

## **2.5.1.2 Propriedades do concreto no estado endurecido**

### **Massa específica**

De acordo com HELENE e TERZIAN (1992), a massa específica do concreto no estado endurecido é influenciada pela massa específica dos seus componentes e as proporções na mistura. A granulometria, forma e textura dos grãos também podem influenciar, já que podem proporcionar uma melhor distribuição, ocupando o máximo de espaço no interior do concreto, reduzindo a porosidade e, conseqüentemente, aumentando a massa específica. A massa específica é determinada de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 1990).

### **Resistência mecânica do concreto**

O desenvolvimento da resistência do concreto está normalmente associado às reações de hidratação da pasta.

Geralmente a resistência do concreto é considerada como sendo um dos parâmetros mais importantes. No projeto estrutural o valor da resistência à compressão, aos 28 dias, é tradicionalmente aceito como índice da resistência segundo METHA e MONTEIRO (1994).

Considerando concretos em iguais condições de mistura, lançamento, adensamento, cura e condições de ensaio, suas resistências são influenciadas por: relação água/cimento, relação agregado/cimento; granulometria, forma, textura superficial, resistência e rigidez dos grãos do agregado; dimensão máxima característica do agregado, gráudo. A relação água/cimento é o principal fator de influência (NEVILLE, 1997).

NEVILLE (1997) também comenta que a resistência, para qualquer relação água/cimento, depende das propriedades físicas e químicas e do grau de hidratação do cimento, da temperatura do ambiente durante a hidratação, do teor de ar no concreto, das variações da relação água/cimento efetiva, da fissuração devido à exsudação. Influenciam, também, o consumo de cimento na mistura e as condições da interface agregado-pasta de cimento.

### **Permeabilidade e absorção do concreto**

O concreto apresenta poros de diferentes tipos e tamanhos, distribuídos aleatoriamente na microestrutura. Esta porosidade tem implicação nas propriedades mecânicas e possibilita o ingresso de fluidos capazes de provocar a degradação do concreto.

Segundo HELENE (1993) a penetração de líquidos através de um sólido poroso pode se processar pela ação de pressão diferencial externa (permeabilidade) ou interna (absorção capilar), por gradientes de concentração (difusão) ou pelo efeito de campos elétricos (migração).

De acordo com METHA e MONTEIRO (1994), permeabilidade é a propriedade que governa a taxa de fluxo de um fluido para o interior de um sólido poroso. Logo, é principalmente a porosidade do concreto, que controla a circulação da água no seu interior e a taxa de concentração de íons. A água, ao percolar e se difundir através dos poros, carregando os íons agressivos, é quem controla os processos físicos, químicos ou físico-químicos da degradação do concreto.

A porosidade do concreto é influenciada principalmente pela relação água/cimento, pela composição química e finura do cimento, pelo grau de hidratação e pelo tipo teor de adição. A relação água/cimento e o grau de hidratação são os principais fatores que influenciam o transporte de líquidos ou gases pelo concreto. Altas relações água/cimento e baixo grau de hidratação implicam numa alta porosidade capilar da pasta, devido à perda da água evaporável.

A saída da água gera um volume de poros conectados, aumentando a permeabilidade do concreto. Por outro lado, com o aumento da hidratação da pasta de cimento, o volume de gel gerado vai ocupando os espaços, ocupados anteriormente pela água, reduzindo a permeabilidade.

Segundo BALL (1998) o agregado pode ter influência significativa sobre a permeabilidade. Esta influência está associada à possibilidade de reduzir o consumo de água na mistura. Portanto, a granulometria, forma e textura dos grãos do agregado influem de forma indireta na permeabilidade do concreto.

De acordo com NEVILLE (1997) os ensaios de permeabilidade avaliam o comportamento do concreto sob pressão, que geralmente não é a força que impulsiona os fluídos no concreto. Daí a necessidade de se aplicar outros métodos de avaliação, relacionados a outros mecanismos de transporte, como a absorção por sucção capilar e a difusão.

CAMARINI (1999) afirma que a determinação da absorção de água é muito mais interessante, no estudo da durabilidade do concreto que a permeabilidade, pois a taxa de penetração d'água observada no ensaio de permeabilidade é de  $10^{-12}$  m/s, enquanto que no ensaio de absorção capilar este valor é da ordem de  $10^{-6}$  m/s, ou seja, a absorção apresenta uma velocidade um milhão de vezes maior que a permeabilidade. A permeabilidade é a medida do fluxo de um líquido sob pressão em materiais saturados, enquanto que a absorção capilar é a medida deste fluxo em materiais não saturados, o que normalmente ocorre com as estruturas de concreto.

No Brasil, a absorção de água do concreto pode ser avaliada através de dois métodos de ensaio normalizados: por imersão, segundo a NBR 9778 (ABNT, 1990); e por capilaridade, de acordo com a NBR 9779 (ABNT, 1990).

## 2.5.2 Concretos “secos”

O concreto “seco” é utilizado na produção de blocos de concreto e é assim chamado porque sua mistura deve possuir um teor de umidade ( relação água/cimento) até o limite em que os blocos começam a perder coesão e a aderir nas paredes dos moldes. Isto faz com que estes concretos possuam no ensaio abatimento zero, e há necessidade de que a retirada de ar aprisionado seja feita por máquinas que conferem compacidade às misturas. A qualidade dos maquinários e processos, nestes concretos, são fundamentais para o alcance de resistência e qualidades desejadas.

De acordo com FERREIRA JUNIOR (1995) o adensamento do concreto dentro da fôrma é propiciada por um sistema de acionamento que pode ser hidráulico, pneumático ou manual; o hidráulico é o que produz maior energia e o manual produz energia quase desprezível.

O teor de água/materiais secos nas misturas de concretos “secos” é fundamental para que estas possam ser empregadas na produção dos blocos. Esta umidade, segundo FRASSON JUNIOR (2000), varia entre 6 a 8%, para que as peças possam ser moldadas sem que haja excesso ou falta de água.

Segundo TANGO (1994), algumas precauções devem ser atendidas na dosagem dos blocos de concreto, pois a consistência deste concreto é de terra úmida, diferindo daquele normalmente utilizado em estruturas, de consistência plástica. Neste último, a pasta ocupa praticamente todos os vazios deixados pelo agregado, enquanto que no concreto para blocos existe a presença significativa de ar em seu interior. Dessa forma, o concreto para blocos não segue o princípio, consagrado para concreto plástico, de que é preciso menos água para aumentar a resistência.

De acordo com TANGO (1994) “a quantidade de água de cada mistura deve ser a maior possível, suficiente para que os blocos não se esboroem e não tão grande que faça com que os

mesmos tenham dificuldade de desforma por aderência aos moldes, ou perda do formato adequado”.

Para a produção de blocos, o concreto “seco” não segue rigorosamente a Lei de Abrams, pois ela foi estabelecida para concretos de consistência plástica. Portanto, não vale a recomendação de reduzir a quantidade de água na mistura para melhorar a resistência mecânica. Existe uma umidade ótima na qual as misturas conseguem obter uma melhor compacidade, bem parecido como o que ocorre na compactação de solos. Entretanto, existe uma quantidade limite acima da qual as peças não conseguem ser produzidas.

Segundo FRASSON JUNIOR (2000) existem várias diferenças entre estes grupos de concreto (plástico e “secos”) . Entre elas, pode-se destacar a forma com que o ar é aprisionado às misturas, a trabalhabilidade e o abatimento, a granulometria final, a relação água/materiais secos, os processos de produção, entre outras.

Estas diferenças fazem com que as metodologias de dosagem sejam também distintas, e o que vale para concretos plásticos nem sempre pode ser utilizado como regra para os concretos “secos”.

### **2.5.2.1 Propriedades do concreto fresco para blocos**

As propriedades do concreto fresco requeridas para blocos estão relacionadas ao manuseio durante a produção e a trabalhabilidade da mistura. Neste sentido tem importância, dentre outros fatores:

- as características do molde (dimensões e geometria);
- a energia de adensamento;

- processo de desmoldagem e manuseio.

A consistência necessária ao concreto para blocos está relacionada ao fato de que a desmoldagem se faz com os blocos ainda no estado fresco. É necessário, que o concreto, sob estas condições, apresente características que determinem a facilidade de moldagem no equipamento e o manuseio após desforma. Segundo TANGO (1984) a consistência requerida ou consistência de moldagem varia em função do equipamento utilizado.

### **2.5.2.2 Propriedades do concreto endurecido para blocos**

O objetivo mais amplo da dosagem do concreto para blocos é a escolha do traço de concreto que, com o equipamento e o processo de produção empregado, resulte na confecção de blocos cujas propriedades no estado endurecido satisfaçam às exigências de uso predeterminadas segundo TANGO (1984)

Normalmente as exigências têm-se referido à resistência à compressão e à absorção de água conforme estabelece as normas da NBR 7173 (ABNT, 1982). Em geral fixa-se o traço tendo em vista a resistência à compressão, e simplesmente verifica-se a absorção de água (TANGO-1984). Algumas dessas exigências estão estabelecidas a partir das propriedades enumeradas na Tabela 2.3

Tabela 2.3 – Propriedades do concreto endurecido para blocos (TANGO, 1984)

Propriedades	Método de ensaio	Importância
Resistência à compressão	NBR 7184	Relação íntima com a capacidade estrutural da parede; Ligada a quebra no transporte e manuseio.
Absorção de água	NBR 12118	Relacionada com a permeabilidade da parede à água de chuva e à durabilidade dos blocos.
Umidade	NBR 12118	Relacionada à capacidade de aderência dos blocos à argamassa de revestimento no estado fresco.
Capilaridade	RILEM (Adaptação)	Relacionada com a infiltração de água por ascensão capilar.
Retração por secagem	NBR 12117	Relacionada à possibilidade de fissuração em paredes, quando do uso de traços ricos em cimento ou água, estando o concreto com idade relativamente baixa.

Fonte: TANGO,1984

Este fato, de certa forma é válido, uma vez que tais grandezas estão intimamente relacionadas. A busca por maior resistência, em termos gerais, implica na redução dos valores de absorção de água.

## 2.6 Metodologias de dosagem para concretos de consistência seca

Dosagem é o processo de estabelecimento do traço de concreto, com a especificação das quantidades de cimento, agregados, água, adições e eventualmente aditivos.

Segundo MEDEIROS et al. (1994), a maioria dos fabricantes do blocos no Brasil não aplica qualquer método racional na dosagem do concreto. Normalmente adota-se um método empírico de proporcionamento dos materiais baseado em séries de tentativa e erro.

De acordo com FRASSON JUNIOR (2000) as metodologias de dosagem existentes são bastante precárias e dependem fundamentalmente de testes em escala de fábrica. O desenvolvimento dos traços é baseado em ajustes da proporção de agregados, de modo a obter uma dada curva granulométrica ou minimizar o teor de vazios, e de uma posterior variação do teor de cimento na mistura. Esta metodologia, entretanto, não consegue prever a adequação dos traços propostos ao processo produtivo da fábrica e mesmo a textura final dos artefatos produzidos.

Segundo FRASSON JUNIOR (2000) existe pouca bibliografia nesta área que abrange as características e comportamentos dos concretos “secos”. Muitas vezes a experiência e os trabalhos individuais executados dentro das fábricas contam muito na adequação e proporcionamento de misturas a serem utilizadas na produção de blocos de concreto. Uma das explicações plausíveis para a pouca bibliografia pertinente ao assunto pode ser exatamente a não divulgação dos trabalhos isolados feitos em fábrica sob a alegação de segredo industrial.

A seguir, estão apresentadas as metodologias de dosagem para o proporcionamento de misturas a serem utilizadas na fabricação dos blocos de concreto.

### **2.6.1 Método de dosagem ABCP**

Este método está descrito em uma publicação da ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland em forma de boletim técnico e foi desenvolvido por FERREIRA JUNIOR (1995) intitulado: Produção de Blocos de Concreto para Alvenaria – Prática Recomendada. Seu enfoque é dado para o valor da proporção entre areia e brita o que resultem na máxima compacidade possível da mistura. Segundo a metodologia, esta trará a maior resistência nos blocos de concreto.

O método consiste na comparação de massas que cabem em um recipiente padronizado e de volume conhecido.

Para manter constante a qualidade final dos blocos, as quantidades de materiais de mesma características colocadas na betoneira devem ser sempre as mesmas.

A condição ideal seria pesar todos os materiais, utilizar os agregados secos ou, então, conhecer sua umidade e descontá-la da água de amassamento.

Entretanto, não sendo possível a utilização de balança para proporcionamento de todos os materiais, a quantidade de agregados pode ser medida em volume, ficando a pesagem somente para o cimento.

O cimento não deve ser medido em volume. Para se ter uma idéia, um recipiente de 20 litros poderá conter de 25 a 35 kg de cimento, dependendo da maneira como foi preenchido, do tipo de cimento e ainda da sua finura.

Portanto, o cimento deve ser sempre proporcionado em massa, utilizando sacos inteiros, de 50kg, ou uma balança.

Para medição dos agregados em volume deverão ser utilizados recipientes rígidos, de metal ou madeira. A quantidade e capacidade dos recipientes deve ser fixada em função do traço, da capacidade da betoneira e das dimensões da boca da betoneira. O importante é que sejam rígidos e de volume conhecido. O agregado graúdo deve ser simplesmente colocado no recipiente até uma altura superior à borda e deve ser efetuado o rasamento com um sarrafo de madeira, para que a quantidade de material seja sempre a mesma.

Para a medição do agregado miúdo devem ser tomados cuidados especiais, porque o agregado miúdo sofre o fenômeno de inchamento devido à umidade, ou seja, as partículas de água aderidas às superfícies dos grãos provocam um afastamento entre eles. O inchamento varia com a umidade e pode chegar até ao valor de 40%, o que significa, por exemplo, que 100 litros de areia seca podem passar a ocupar um espaço de 140 litros quando úmida.

Se o fenômeno de inchamento não for levado em conta durante o proporcionamento ou se não for utilizado algum artifício para eliminá-lo, ou minimizá-lo, a quantidade real de areia empregada será menor que a desejada. Recomenda-se descontar a porcentagem de inchamento no volume da areia.

A água de amassamento é constituída não só pela água adicionada na betoneira como também pela existente nos agregados, portanto, medir a água de amassamento significa também determinar periodicamente a umidade dos agregados, calcular quanto de água eles carregam para as misturas e adicionar apenas o restante.

Como esse procedimento, principalmente nos casos em que os agregados são proporcionados em volume, é pouco prático, adiciona-se água até a mistura atingir a umidade ótima, que é avaliada visualmente pelo operador da betoneira.

### **2.6.1.1 Método proposto por FERREIRA JUNIOR (1995)**

Para a realização da dosagem deverão ser cumpridos os três passos seguintes:

#### **1º Passo – Determinação da melhor composição de agregados**

A proporção de cada um dos agregados deverá ser tal que produza um agregado total com a máxima compactidade possível. O procedimento consiste em colocar os agregados previamente misturados no recipiente com o quadro (colarinho) metálico já adaptado (40x40cm de boca) e de volume conhecido, adensar, retirar o quadro, rasar e pesar. A composição que apresentar maior massa será a ideal.

O adensamento deverá ser feito com uma haste de ferro, que pode ser uma barra de aproximadamente 20 mm ( $\frac{3}{4}$ " de polegada) de diâmetro, de forma que penetre entre os

agregados. Deverão ser dados 8 golpes para cada 100cm<sup>2</sup> de área da boca do recipiente; por exemplo, para um recipiente de 40cm x 40cm de boca, com 1.600 cm<sup>2</sup>, deverão ser dados 128 golpes.

Para esse procedimento é necessário que os agregados estejam secos. Quando se dispuser de três agregados, primeiramente se determina a composição ideal dos dois mais grossos e depois a dessa composição com o mais fino.

Com isso fica definido de que maneira deverá ser composto o agregado total, embora algumas variações possam ser feitas posteriormente com o objetivo de melhorar o aspecto do concreto.

### **2º Passo: Determinação da quantidade de água**

Para um traço fixo, a quantidade ótima de água será aquela que proporcionar aos blocos a maior compacidade, que é verificada pesando-os logo após a moldagem. Normalmente a máxima compacidade é obtida com a maior quantidade de água possível, até o limite em que os blocos começam a perder a coesão e a aderir nas paredes das formas.

### **3º Passo: Determinação da quantidade de cimento**

É possível fabricar blocos de boa aparência com diversos consumos de cimento, desde traços ricos (por exemplo 1:6 em massa) até traços mais pobres (1:10, 1: 15 ou mais). A escolha do traço deverá ser feita em função da resistência desejada, que será, dentro dos padrões normais, tanto maior quanto mais rico for o traço.

Para qualquer consumo de cimento a composição granulométrica será a mesma, isto é, aquela fixada conforme o 1º passo. Entretanto, como a quantidade ótima de água poderá variar ligeiramente, de traço para traço, o 2º passo deverá ser executado novamente, desta vez para o traço escolhido.

A Tabela 2.4 apresenta os traços normalmente empregados na fabricação de blocos de concreto sem função estrutural conforme ABCP (1978).

Tabela 2.4 – Recomendações de traços para blocos de concreto para alvenaria de vedação

Materiais	TRAÇOS (massa por m <sup>3</sup> de concreto)				
	1:10		1:12		1:13
Cimento: agregado	1:5:5	1:6:4	1:6:6	1:6,5:5,5	1:6,5:6,5
Relação água / cimento	1	1	1	1	1
Cimento (kg)	197	197	171	171	160,5
Agregado (total)	1970	1970	2052	2052	2086
Areia considerando 4% de umidade(kg)	985	1182	1026	1110	1043
Brita 0 (kg)	985	788	1026	942	1043
Água (litros)	158	150	130	127	119

Fonte: ABCP,1978

## 2.6.2 Método de dosagem Besser

Método formulado por Lucas E. Pfeiffenberger e adotado pela fabricante de máquinas vibro-prensas norte americana, Besser Company citado por FRASSON JR (2000), baseado no ajuste de traço pela granulometria final das misturas, mais propriamente por seu módulo de finura (M.F.) . Este método foi muito utilizado pela empresa ENCOL ENGENHARIA S.A, que junto a EPUSP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) desenvolveu um manual sobre o processo produtivo e dosagem de blocos de concreto, denominado: Manual do Processo Construtivo Poli-Encol: Blocos e Pré-moldados (1991).

O método estipula inicialmente um proporcionamento pré-estabelecido dentro de uma faixa de 40% para a brita 0 e 60% para a areia média, em massa, variando estas percentagens de acordo com a análise granulométrica dos mesmos.

Para o acerto de granulometria, por exemplo falta de finos, pode-se utilizar um terceiro material, na tentativa de ajustar o M.F. da mistura, que deve ficar de 3,60 a 3,75. Para atingir o módulo de finura final da mistura, areias médias com M.F. de 3,00 a 3,50 e brita 0 com M.F. de 5,00 a 5,75 são recomendados. Neste caso, a proporção em massa da areia e brita 0 estará em torno de 40% / 60% respectivamente.

### **Cálculo do proporcionamento:**

X = porcentagem de agregado fino

Y = porcentagem de agregado graúdo

A = M.F. do agregado graúdo

B = M.F. que se busca do agregado combinado

C = M.F. do agregado fino

$$X = 100 \times (A - B) : (A - C) \quad (2.1)$$

$$Y = 100 - X \quad (2.2)$$

O módulo de finura final da mistura é determinado multiplicando-se as respectivas porcentagens de agregados por seus módulos de finura ou multiplicar a porcentagem acumulada de cada peneira de cada agregado pela porcentagem utilizada de cada agregado e somar estes valores, calculando-se, posteriormente seu módulo de finura.

Exemplo: Proporcionamento (retirado do manual BESSER segundo FRASSON JUNIOR (2000).

Tabela 2.5 - Granulometria do agregado miúdo

Peneira (mm)	Porcentagens (%)	
	Retida	Retida acumulada
9,5	0,0	0,0
6,3	0,0	0,0
4,8	0,0	0,0
2,4	10,0	10,0
1,2	19,0	29,0
0,6	21,0	50,0
0,3	33,0	83,0
0,15	12,0	95,0
Fundo	5,0	100,0
Total	100,0	-

M.F. = 2,67

Tabela 2.6 - Granulometria do agregado graúdo (brita 0)

Peneira (mm)	Porcentagens (%)	
	Retida	Retida acumulada
9,5	0,0	0,0
6,3	0,0	0,0
4,8	63,0	63,0
2,4	30,0	93,0
1,2	2,0	95,0
0,6	1,0	96,0
0,3	1,0	97,0
0,15	1,0	98,0
Fundo	2,0	100,0
Total	100,0	-

M.F. = 5,42

#### Determinação do M.F. da mistura

$$X = 100 \times ( 5,42 - 3,70 ) / ( 5,42 - 2,67 ) = 62,5\%$$

$$Y = 100 - 62,5 = 37,5\%$$

$$\text{M.F. (mistura)} = 0,625 \times 2,67 + 0,375 \times 5,42 = 3,70$$

Tabela 2.7 - Granulometria da mistura

Peneira (mm)	Porcentagens (%)	
	Retida	Retida acumulada
9,5	0,0	0,0
6,3	0,0	0,0
4,8	$0,625 \times 0,0 + 0,375 \times 63 = 23,6$	24
2,4	$0,625 \times 10 + 0,375 \times 30 = 17,5$	41
1,2	$0,625 \times 19 + 0,375 \times 2,0 = 12,6$	54
0,6	$0,625 \times 21 + 0,375 \times 1,0 = 13,5$	67
0,3	$0,625 \times 33 + 0,375 \times 1,0 = 21,0$	88
0,15	$0,625 \times 12 + 0,375 \times 1,0 = 7,9$	96
Fundo	$0,625 \times 5,0 + 0,375 \times 2,0 = 3,9$	100,0
Total	100,0	-

$$\text{M.F.} = 3,70$$

FRASSON JUNIOR (2000) sugere que para se alcançar uma granulometria adequada para os blocos de concreto, seria desejável que a mistura possuísse a graduação abaixo descrita:

Retido nas peneiras:

Grupo 1 ( Peneiras 4,8mm e 2,4mm ) : grosso – 40% do material

Grupo 2 ( Peneiras 1,2mm – 0,6mm – 0,3mm ) : médio – 45% do material

Grupo 3 ( Peneiras 0,15mm e fundo ) : fino – 15% do material

Após definir a proporção mais adequada para os agregados, deve-se executar a produção de traços-piloto a fim de testar a resistência dos blocos com testes em escala real de produção.

O manual POLI-ENCOL (1991) apresenta traços e ajustes que devem ser dados ao processo produtivo. Segundo este manual, os cuidados na produção e os traços a serem testados são os seguintes:

a) Ajustes no equipamento / tempos de produção adotados na vibro prensa

- tempo de alimentação : 4s
- tempo de pré-vibração : 5s
- tempo de desforma : 4s
- tempo de ciclo : 22 a 24s
- tempo de vibro-compressão : 1,5 a 2,5s

b) Umidade (Teor de água / materiais secos)

A mistura deve possuir cerca de 6 a 7,5% de umidade. Esta depende das características do material e do uso ou não de aditivos. O consumo deste aditivo é dependente da granulometria da mistura e da eficiência do sistema de vibração.

As experiências na fábrica demonstraram que os valores de umidade utilizados para encontrar  $H_{\text{ótimo}}$  foi de 7% de umidade para misturas sem aditivos e 6% de umidade para misturas que utilizavam aditivos. Estes valores podem oscilar conforme a natureza, granulometria e quantidade dos materiais empregados, e na prática foi demonstrado que estas oscilações são superiores a 0,5% segundo FRASSON JUNIOR (2000).

c) Relação cimento-agregado

Depende da resistência à compressão desejada para os blocos. O manual recomenda, a utilização das seguintes relações cimento/agregado considerando um coeficiente de variação na produção da ordem de 15%.

Tabela 2.8 - Traços piloto de cimento: agregado para a produção de blocos de concreto

Relação cimento: agregado (em massa)	Resistência à compressão ( MPa )			
	4,5	6,0	8,0	9,0
	1: 9	1: 8	1: 7	1: 6
	a	a	a	a
	1: 12	1: 10	1: 9	1: 8

Fonte : Manual POLI/ENCOL (1991)

Neste estudo foram utilizados blocos de concreto com dimensões (145x190x295)mm, rompidos aos 28 dias de idade. Segundo o manual, estes resultados estão sujeitos à influência dos seguintes fatores:

- tipo de cura empregado (no caso foi empregado cura a vapor);
- o ensaio de blocos com capeamento de enxofre conforme NBR 7186;
- moldagem em vibro-prensa Montana MBX 975; e
- características próprias dos materiais empregados na mistura.

De acordo com FRASSON JUNIOR (2000) os métodos adotados pelos fabricantes de máquinas vibro-prensas, são válidos. Cada um deles possui alguma característica ou introduz conceitos importantes na fabricação dos blocos de concreto. Contudo, o processo produtivo de blocos de concreto tem em seu funcionamento uma gama muito grande de variáveis e detalhes aparentemente pequenos que alteram de forma significativa os artefatos, sejam elas características de resistência mecânica, textura, coesão, massa específica, etc... Ainda segundo FRASSON JUNIOR (2000) as metodologias não conseguem abranger toda a sistemática da

produção de blocos de concreto ou não conseguem fazer, de forma simples, um estudo capaz de encontrar traços que sejam mais adequados à produção.

Fixar tipos exatos de agregados e enquadrar em curvas granulométricas pode ser um tanto complicado devido a diversidade de tipos de materiais. Cada região possui uma característica de suas matérias-primas, que podem variar na forma, superfície dos grãos, graduação, homogeneidade nas suas características ao longo do tempo, disponibilidade dos agregados, etc...

Como visto, não é somente o alcance de uma mistura com menor número de vazios que fará dela uma mistura boa para a produção de blocos. A forma com que esta mistura interage com o equipamento, a umidade nela colocada, a coesão necessária para que ela continue firme no transporte logo após a desmoldagem é que vão fazer dela uma mistura adequada ou não, econômica ou não. Finalmente, não se pode esperar que um estudo de dosagem se faça sem conhecer a fundo o equipamento e todo o processo de produção dos blocos.

Verificamos que a experiência e os trabalhos individuais executados dentro das fábricas contam muito na adequação e proporcionamento de misturas a serem utilizadas na produção dos blocos de concreto.

## **2.7 Características dos blocos de concreto**

A normalização brasileira define basicamente dois tipos de blocos de concreto, de acordo com sua aplicação: para vedação, o bloco vazado de concreto simples para alvenaria sem função estrutural - NBR 7173 (ABNT, 1982), e com função estrutural, o bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural - NBR 6136 (ABNT, 1994).

Qualquer que seja a aplicação, o bloco deve ser vazado, ou seja, sem fundo, aproveitando os furos para a passagem das instalações e para a aplicação do graute (concreto de

alta plasticidade). Não tendo fundo, há também uma grande economia de argamassa de assentamento.

A norma brasileira designa os blocos tomando como base a largura, por exemplo, M-10, M-15 e M-20, referindo-se às larguras 9, 14 e 19cm, respectivamente. As dimensões padronizadas dos blocos admitem tolerâncias de +2mm para a largura e + 3mm para a altura e comprimento.

Na Tabela 2.9 são mostradas as dimensões nominais dos blocos de vedação conforme NBR 7173 (ABNT,1982).

Tabela 2.9 – Dimensões nominais dos blocos de vedação - Unid.: cm

Designação	Largura	Altura	Comprimento
(Bloco de 20 cm nominal) M- 20	19	19	39
	19	19	29
	19	19	19
	19	19	9
	19	9	19
(Bloco de 15 cm nominal) M- 15	14	19	39
	14	19	34
	14	19	29
	14	19	19
(Bloco de 10 cm nominal)	9	19	39
	9	19	29
	9	19	19
	9	19	14
	9	19	9
	9	9	19

Fonte: NBR 7173 (ABNT, 1982).

Conforme estabelece a normas técnicas da NBR 7173 (ABNT, 1982) estas dimensões devem ser verificadas com precisão de 0,5 mm, e as tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos, indicadas na Tabela, são de +3mm e -2mm.

A espessura mínima de qualquer parede de bloco deve ser de 15mm.

A amostra submetida aos ensaios, de acordo com as normas técnicas da NBR 7184 (ABNT), deverá satisfazer aos limites indicados abaixo:

a) Resistência à compressão (valores mínimos):

- média : 2,5 MPa;
- individual : 2,0 MPa

b) Umidade:

- no momento do recebimento dos blocos pelo Laboratório, estes não deverão apresentar umidade superior a 40% da quantidade de água fixada como absorção máxima;

c) Absorção (valores máximos)

- média : 10%
- individual : 15%

Os ensaios previstos nas alíneas b) e c) não serão necessários quando os blocos destinarem-se à execução de alvenarias não expostas às intempéries ou umidade, cabendo ao comprador indicar claramente quando este ensaio não deve ser exigido.

## 2.8 Equipamento utilizado na produção de blocos de concreto

São denominados de vibro-prensas os equipamentos utilizados na produção de blocos de concreto. Esta denominação é devido ao mecanismo de funcionamento empregado durante o processo de fabricação dos blocos: vibração associada à prensagem. A primeira função é responsável pelo preenchimento e adensamento da mistura nos moldes, e a segunda, influencia o adensamento e o controle da altura dos blocos.

Basicamente, o funcionamento de uma vibro-prensa durante a moldagem dos blocos pode ser resumida nas seguintes etapas:

A) preenchimento da gaveta alimentadora com o concreto destinado a moldagem dos blocos;

B) deslocamento da gaveta para preenchimento do molde metálico com o concreto. Esta fase é acompanhada por vibração do molde (forma dos blocos);

C) retorno da gaveta para sua posição inicial e descida dos extratores para compactação dos blocos de dentro dos moldes. Esta compactação é acompanhada de nova vibração, que termina quando a altura desejada para os blocos é atingida;

D) extrusão ou desforma dos blocos após o final da vibração através da ascensão do molde enquanto os extratores permanecem imóveis, ficando os blocos sobre o “palet”;

E) os blocos recém-conformados são retirados com o “palet” e finalmente,

F) o molde desce para sua posição original enquanto os extratores ascendem, permitindo o início de um novo ciclo.

A Figura 2.5 mostra a sequência de funcionamento de uma vibro-prensa durante a moldagem dos blocos de concreto.

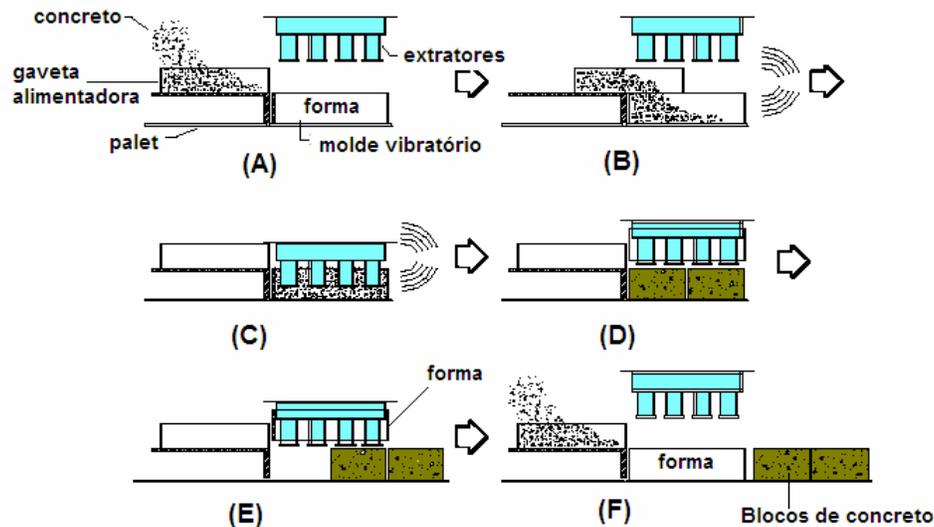


Figura 2.5 – Sequência de funcionamento de uma vibro-prensa

## 2.9 Condução e Condutividade térmica

Condução: é a transferência de energia de partículas mais energéticas para partículas de menor energia, em um meio devido às interações que existem entre elas. Na condução, o calor se propaga em todas as direções e a transferência de calor acontece entre dois pontos distintos do elemento, sempre do ponto de maior temperatura para os pontos de menor temperatura. A situação é muito semelhante nos fluídos, mas só é válida se a transferência de calor ocorrer sem movimentos convectivos (INCROPERA e DEWITT,1998).

Considera-se, neste fenômeno, dois princípios que governam a transmissão de calor por condução: o primeiro constitui o chamado regime permanente ou estacionário, com fluxo

constante de calor, o segundo é o regime variável, com a variação do fluxo de calor com o tempo. No regime estacionário as temperaturas entre as superfícies do sólido permanecem uniformes.

A propriedade fundamental de um material na transmissão de calor por condução é a *condutividade térmica* (GÜTHS, 1990).

A condutividade térmica expressa a quantidade de calor transmitido através de um material considerado homogêneo, em regime estacionário, por unidade de espessura, unidade de área e unidade de tempo, quando a diferença entre as temperaturas de suas faces é a unidade.

Um outro fator importante a ser analisado na passagem do calor é a resistência térmica do material, que é inversamente proporcional á quantidade de calor transmitido, sendo expressa pela fórmula 2.3:

$$r = e / \lambda \quad [ (m^2K) / W ] \quad (2.3)$$

Para elementos com várias camadas perpendiculares à direção do fluxo, as resistências de cada camada deverão ser somadas.

$$r = \sum e / \lambda \quad [ (m^2K) / W ] \quad (2.4)$$

STANCATO (2000) apresenta na tabela 2.1 os seguintes valores médios para a condutividade térmica de argamassa com pó de serra determinada pelo método fluximétrico.

Tabela 2.10 – Condutividade térmica de argamassa com pó de serra

Traço Cimento: pó de serra: água/cimento	Condutividade térmica $\lambda$ ( W/mK )		Massa unitária Seca kg/m <sup>3</sup>	
	CP V - ARI	CPII - E 32	CP V- ARI	CPII - E 32
1 : 0,4 : 0,84	0,265	0,251	974	968
1 : 0,4 : 1,00	0,254	0,223	910	885
1 : 0,4 : 1,18	0,229	0,218	818	780
1 : 0,6 : 1,28	0,218	0,201	811	769
1 : 0,6 : 1,35	0,210	0,185	769	745

Fonte: STANCATO (2000)

Ainda segundo STANCATO (2000) a tabela 2.11 apresenta a condutividade térmica em argamassa de cimento e areia fina quartzosa, cimento e areia fina siltosa e cimento e areia média quartzosa determinada também pelo método fluximétrico.

Tabela 2.11 – Condutividade térmica em argamassa de cimento e areia (cimento:CPII – E 32)

Traço Cimento: agregado: a/c	Condutividade térmica $\lambda$ ( W/mK )	Massa unitária Seca kg/m <sup>3</sup>
Areia fina quartzosa 1 : 3 : 0,80	0,946	1828
Areia fina siltosa 1 : 3 : 0,62	1,095	1928
Areia média quartzosa 1 : 3 : 0,63	1,175	2001

Fonte: STANCATO (2000)

A tabela 9.A do Anexo A, apresenta a condutividade térmica ( $\lambda$ ) e o calor específico (c) para diversos materiais de construção em função de sua densidade de massa aparente ( $\rho$ ) segundo a ABNT (2003).

De acordo com RIVERO (1986), a condutividade térmica está na razão direta em relação à massa unitária seca de um material, a qual se faz mais estreita e evidente em materiais semelhantes como madeira, cerâmicas e concretos. Também conforme STANCATO (2000), a condutividade térmica da argamassa depende estreitamente da massa unitária do material.

STANCATO (2000) também observou que com o aumento da resistência à compressão da argamassa com pó de serra, aumenta-se o valor da condutividade térmica. Deve-se entender o aumento da resistência mecânica como uma conseqüência da diminuição da relação água/cimento da argamassa, conferindo uma diminuição de porosidade da argamassa, facilitando a passagem do fluxo de calor térmico através do material. A menor quantidade de ar existente nos vazios contido em seus poros diminui a resistência térmica total da argamassa, ou seja, como os materiais possuem poros, a baixa condutividade térmica do ar proporciona maior resistência térmica aos materiais.

## **2.10 Elementos de enchimento das pré-lajes**

De acordo com NBR 14860-1 (ABNT, 2002) os elementos de enchimento são componentes pré-fabricados com materiais inertes, sendo maciços ou vazados, intercalados entre as nervuras das pré-lajes com seção final entre as nervuras das pré-lajes com seção final nervurada, com a função de reduzir o volume de concreto, e o peso próprio da laje.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Pó de serra

O pó de serra utilizado nas pesquisas foram obtidos das madeiras pinus (***Pinus caribaea*** var. ***hondurensis***), eucalipto (***Eucalyptus citriodora***), cerejeira (***Amburana sp.***), resíduos da indústria de transformação da madeira, passante na peneira 4,8mm, que através de um tratamento específico transformou-se em pó de serra utilizável.

A caracterização do pó de serra foi baseada na normalização para agregado miúdo da ABNT, adaptando-se alguns procedimentos em função do tipo de material, segundo GRANDI (1995).

#### 3.1.1 Tratamento do pó de serra

O pó de serra utilizado no trabalho passou por uma lavagem com substância alcalina, onde a quantidade de cal empregada foi de 5% p/p (peso/peso) da massa unitária do pó de serra e diluído na proporção de 10 litros de água para 1 kg de pó de serra. O material ficou em imersão

por 24 horas, sendo em seguida lavado em água corrente e seco ao ar livre, durante 3 dias. A cal empregada foi a cal hidratada, tipo CH-III, de uso corrente em pinturas.

### **3.1.2 Caracterização física do pó de serra**

A metodologia adotada para a caracterização física do pó de serra foi baseada no procedimento de GRANDI (1995). Foi realizada a classificação granulométrica do agregado vegetal, determinou-se o teor de umidade do agregado ( $u$  %) em secador infra vermelho, modelo IRP-150 a 110°. Em seguida, determinou-se a massa unitária no estado seco e solto ( $\gamma_{ss}$ ), de acordo com a norma da NBR 7251 (ABNT, 1982), no estado seco e compactado ( $\gamma_{sc}$ ), conforme norma NBR 7810 (ABNT, 1983) e a massa específica ( $\gamma_a$ ) por meio do frasco de Chapman de acordo com uma adaptação à norma da NBR 9776 (ABNT, 1986).

Esta adaptação constou do seguinte: a massa específica do agregado vegetal foi determinada de acordo com a norma técnica da NBR 9776 (ABNT, 1986), substituindo-se a água por 350 cm<sup>3</sup> de álcool e o agregado miúdo por 75g de pó de serra.

A substituição da água por álcool deveu-se ao fato deste ter menor densidade do que a água e o pó de serra ser de massa unitária menor do que da areia. Utilizando a água, parte do pó de serra bóia na superfície, problema este eliminado pelo uso do álcool.

### **3.1.3 Classificação granulométrica do pó de serra**

Para a composição granulométrica pesou-se aproximadamente 500g do pó de serra, que foi submetido ao processo de peneiramento durante 15 minutos no agitador mecânico de peneiras, segundo a serie normal de peneiras da ABNT, sendo seqüencialmente utilizadas as peneiras de malhas com aberturas 4,8mm; 2,4mm; 1,2mm; 0,60mm; 0,30mm; 0,15mm e fundo,

de acordo com as normas técnicas da NBR 7211 (ABNT, 1987) e NBR 7217 (ABNT, 1983). Os resultados são mostrados na Tabela 4.1 página 89 do capítulo 4.

### **3.1.4 Determinação do teor de umidade do pó de serra**

Determinou-se três valores de teor de umidade, coletados em pontos aleatórios do recipiente, sendo obtido a média dos valores nos ensaios de caracterização, mostrados na Tabela 4.2 na página 90 do Capítulo 4.

O ensaio do teor de umidade foi realizado com uma massa inicial de 3 gramas e calculado pela equação a seguir:

$$u = [(m_u - m_s) / m_s] \cdot 100 \quad (3.1)$$

onde,

$u$  = teor de umidade do pó de serra; (%)

$m_u$  = massa da amostra do pó de serra úmido; (gramas)

$m_s$  = massa da amostra do pó de serra seco. (gramas)

### **3.1.5 Determinação da massa unitária do pó de serra no estado seco e solto**

A massa unitária no estado seco e solto foi determinada, de acordo com a norma técnica da NBR 7251 (ABNT, 1982), utilizando-se um recipiente em forma de paralelepípedo metálico com volume de 15,5 dm<sup>3</sup>.

Tabela 3.1 – Dimensões do recipiente – massa unitária no estado seco e solto

Dimensão máx. agregado (mm)	Dimensões mínimas		Valor mínimo ( dm <sup>3</sup> )
	Base (mm)	Altura (mm)	
≤ 4,8	316 x 316	150	15
> 4,8 e ≤ 50	316 x 316	200	20
> 50	447 x 447	300	60

Fonte: Tabela da norma NBR 7251 (ABNT, 1982)

A amostra de agregado foi lançada no recipiente de uma altura aproximadamente de 10cm de seu topo, até o preenchimento total. Sua superfície foi regularizada através de uma régua, anotando-se, em seguida, a massa de agregado contida nesse volume.

A massa unitária no estado seco e solto foi a média dos resultados obtidos com três determinações, dividindo-se a massa do pó de serra pelo volume do recipiente utilizado (15,5 dm<sup>3</sup>). Os resultados estão apresentados na Tabela 4.3 da página 90 no capítulo 4.

### **3.1.6 Determinação da massa unitária do pó de serra no estado seco e compactado**

A massa unitária do pó de serra no estado seco e compactado foi determinada, conforme o estabelecido na norma da NBR 7810 (ABNT, 1983), utilizando-se uma haste de socamento (600 mm de comprimento e 16 mm de diâmetro) e um recipiente cilíndrico metálico com volume de, aproximadamente 30 dm<sup>3</sup> (Tabela 3.2)

Tabela 3.2 – Dimensões do recipiente - massa unitária no estado seco e compactado

Agregado	Recipiente				
	Capacidade nominal ( dm <sup>3</sup> )	Diâmetro interno ( mm )	Altura interna ( mm )	Espessura da Chapa ( dm <sup>3</sup> )	
				Fundo	Paredes
D <sub>máx.</sub> característica NBR 7211 (mm)					
4,8 < D <sub>máx.</sub> ≤ 12,5	3	150	170	5,0	3,0
12,5 < D <sub>máx.</sub> ≤ 38	15	250	360	5,0	3,0
38 < D <sub>máx.</sub> ≤ 76	30	350	312	5,0	3,0
76 < D <sub>máx.</sub> ≤ 1252	90	450	566	5,0	3,0

Fonte: Tabela da norma NBR 7810 (ABNT, 1983)

O recipiente foi preenchido até 1/3 do volume, nivelando-se a superfície com as mãos, dando-se, a seguir, 25 golpes com a haste, distribuídos uniformemente pela superfície; encheu-se o segundo terço do volume e repetiu-se a operação, finalizando-se com o terceiro terço até sobrar material acima do recipiente, repetindo-se a operação. Em seguida foram preenchidos os vazios restantes, completando o volume e nivelando sua superfície, anotando-se, em seguida, a massa do agregado vegetal contido nesse volume. A massa unitária no estado seco e compactado foi a média dos resultados obtidos com três determinações, dividindo-se a massa do agregado pelo volume do recipiente utilizado, considerando-se o desconto da massa de água. Os resultados são mostrados na Tabela 4.3 da página 90 no capítulo 4.

### 3.1.7 Determinação da massa específica real do pó de serra por meio do frasco de Chapman

A massa específica do agregado foi determinada de acordo com a norma da NBR 9776 (ABNT, 1986), substituindo-se a água por 350 cm<sup>3</sup> de álcool e o agregado miúdo por 75g do pó de serra.

O ensaio foi realizado, colocando-se o álcool no frasco e em seguida o pó de serra seco, agitando-se a mistura até a eliminação das bolhas .

Foram realizadas duas repetições do ensaio e duas leituras para cada ensaio, em três dias subseqüentes, agitando-se o frasco antes de cada leitura, para efeito de eliminação máxima do ar existente no conjunto. Os resultados são apresentados na Tabela 4.4 na página 91 no capítulo 4.

A massa específica do pó de serra foi calculada pela equação:

$$\gamma_a = 75 / ( L - 350 ) \quad (3.2)$$

onde,

$\gamma_a$  = massa específica do pó de serra (miúdo)

L = leitura do frasco, volume ocupado pela mistura.

## **3.2 Agregados convencionais**

Optou-se por denominar o agregados convencionais como agregado miúdo A, agregado B e agregado graúdo C, para facilitar a identificação dos tipos de agregados utilizados na pesquisa.

### **3.2.1 Agregado miúdo A**

## Areia

Areia quartzosa, procedente do município de Tremembé, Estado de São Paulo, com as características físicas mostradas na Tabela 3.3. As porcentagens retidas e acumuladas são mostradas na Tabela 1.A do Anexo A.

Tabela 3.3 – Ensaio de caracterização do agregado miúdo A

Características	Resultados
Dimensão máxima característica (mm)	4,80
Módulo de Finura	2,34
Umidade (%)	4%
Massa unitária seco e solto	1,43 kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica real	2,61 kg/dm <sup>3</sup>

### 3.2.2 Agregado B (Composição entre areia fina e pedrisco)

Fornecida pelos portos de areia da região do Vale do Paraíba para diversos fabricantes de blocos de concreto com as características físicas mostradas na Tabela 3.4. As porcentagens retidas e acumuladas são mostradas na Tabela 2.A do Anexo A.

Local do Porto – Tremembé/SP

Tabela 3.4 – Ensaio de caracterização do agregado B

Características	Resultados
Dimensão máxima característica (mm)	9,5
Módulo de Finura	4,20
Umidade ( h % )	6,54%
Massa unitária seco solto	1,63 kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica real	2,61 kg/dm <sup>3</sup>

### 3.2.3 Agregado graúdo C

O agregado graúdo de origem basáltica procedente do município de Taubaté com as características físicas mostradas na Tabela 3.5. As porcentagens acumuladas e retidas são mostradas na Tabela 3.A do Anexo A.

Tabela 3.5 – Ensaio de caracterização do agregado graúdo C

Características	Resultados
Dimensão máxima característica (mm)	9,5
Módulo de Finura	5,6
Umidade (%)	0
Massa unitária seco solto	1,73 kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica real	2,65 kg/dm <sup>3</sup>

### 3.3 Aglomerante - Cimento Portland

O cimento Portland utilizado foi o de alta resistência inicial – CP V – ARI. A escolha deste cimento deve-se ao seu elevado teor de C<sub>3</sub>S (silicato tricálcico) e C<sub>2</sub>S (Silicato Dicálcico), em relação aos outros tipos de cimento Portland, tornando-o menos sensível à ação dos extrativos da madeira segundo GRANDI (1995) e BERALDO (1994). Outra característica para sua escolha deve-se à sua resistência à compressão inicial elevada, favorecendo a redução no tempo de desforma e uso das peças, resultando em economia de espaços reservados à cura e estocagem.

### 3.4 Água

A água utilizada foi proveniente da rede de abastecimento local (SABESP).

### 3.5 Produção dos blocos de concreto (corpos-de-prova)

Os blocos de concreto nas dimensões (14x19x39) cm e espessura de 2,50cm, foram produzidos em uma vibro-prensa da marca BARRAL operada no canteiro de uma fábrica comercial. A Figura 3.1 abaixo mostra a vibro-prensa utilizada na produção dos blocos de concreto.



Figura 3.1 – Vibro-prensa da marca BARRAL

### 3.6 Constituição das misturas utilizadas na produção dos blocos de concreto

Para a produção dos blocos de concreto, definiu-se três misturas a saber:

1. Mistura **A** ;
2. Mistura **B** e
3. Mistura **C**

Entre as misturas estudadas variou-se a quantidade de água e substituiu-se parcialmente o agregado miúdo mineral pelo pó de serra (*Pinnus caribaea*), em relação ao concreto de referência (convencional).

Dessa forma, variando os parâmetros definidos acima, buscou-se o traço que conduz a maior eficiência do bloco (resistência à compressão, teor de umidade, absorção de água e condutividade térmica).

As misturas foram realizadas numa betoneira de eixo vertical e foram colocados com a betoneira em movimento, obedecendo a seguinte ordem:

- Coloca-se o agregado graúdo e 20% da água, misturando-se por aproximadamente 15s;
- Coloca-se todo o cimento e 50% da água e mistura-se por aproximadamente 15s e
- Finalmente coloca-se a areia e/ou areia e pó de serra e o restante da água misturando-se por mais 15s.

O tempo de alimentação e pré-vibração (acomodação do material nos moldes) e o tempo de vibro-compressão foram respectivamente 6,00s e 5,00s, com exceção do traço A da mistura A em que o tempo de vibro compressão foi de 8,00s e 3,00s respectivamente.

A sequência da produção dos blocos de concreto na vibro-prensa utilizada no estudo foi:

- Após o processo de mistura na betoneira, o concreto é levado por uma esteira rolante até o silo situado sobre a vibro-prensa;
- O material do silo é liberado por gravidade alimentando o molde, que seguido de vibração obtem-se uma acomodação do material. O molde produz 03 blocos simultâneamente.
- Um pente pesado de aço conforme a geometria do bloco comprime o bloco até atingir a sua altura desejada. Esse processo também é seguido de vibração.
- O pente e o molde são levantados ficando os blocos sobre o “palete” (conforme ilustra a Figura 3.2) que são retirados e transportados até um páteo para a cura natural, protegidos do vento por um plástico preto.
- Após 8 horas os blocos são molhados e o processo se estendeu por seis dias subseqüentes.
- Após a cura os blocos foram transportados para o laboratório onde foram realizados os ensaios.

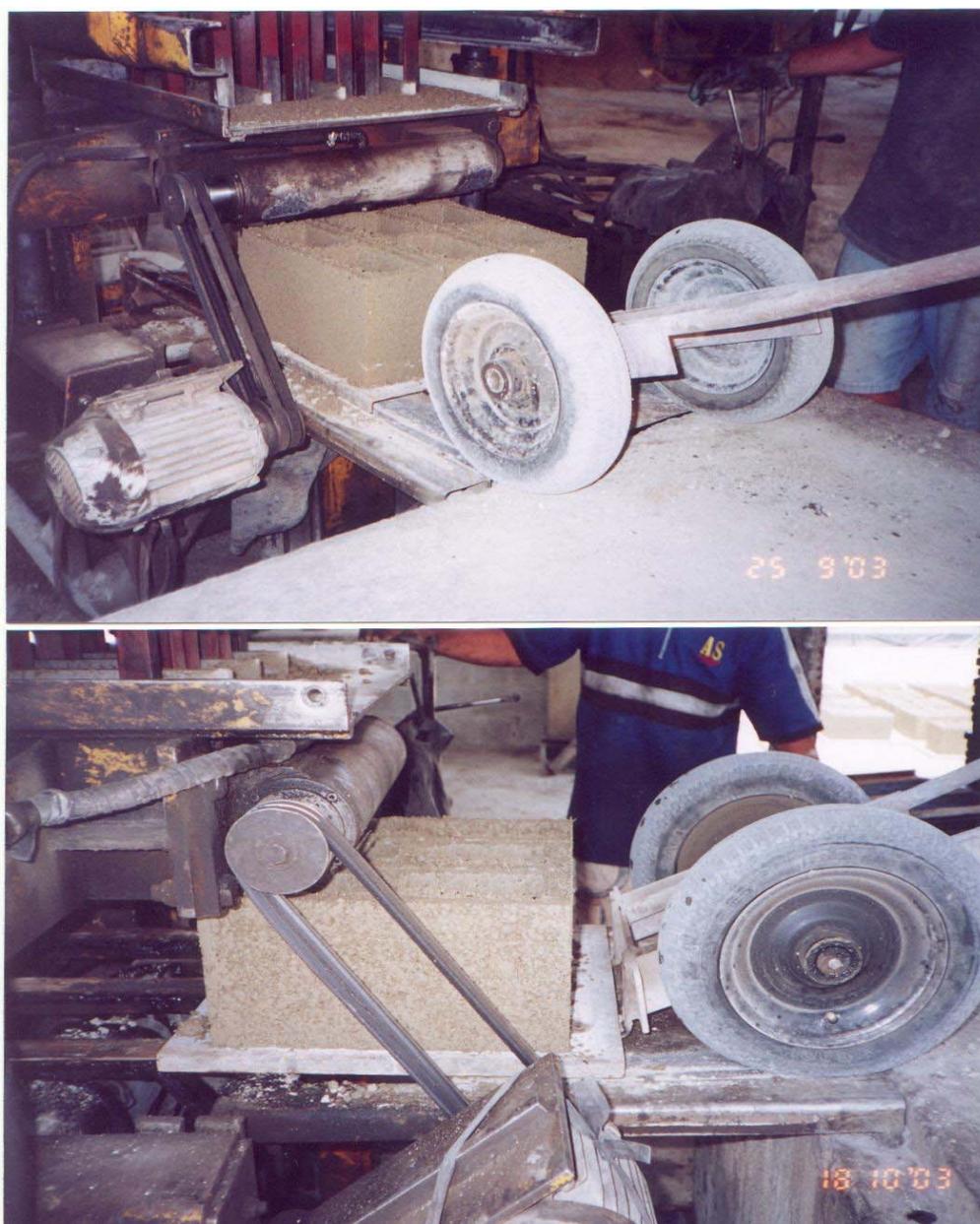


Figura 3.2 – Retirada dos blocos da vibro-prensa

### 3.6.1 Mistura A

A Tabela 3.6 mostra os traços utilizados na produção de blocos para a mistura A.

Tabela 3.6 – Mistura A utilizada na produção de blocos de vedação (14x19x39)cm

TRAÇOS	Proporcionamento dos materiais em massa para os blocos de concreto e corpos-de-prova cilíndricos (5x10) cm					
	Unitário		Total			
	Cimento	Pó de Serra	Cimento	Pó de Serra	água (litros)	a/c
1 : 0,4 ( massa )	1	0,4	22kg	8,86kg	12	0,58
Umidade pó de serra (%)				9,18 %		
massa unitária pó de serra seco				0,179 kg/dm <sup>3</sup>		

Os ensaios de resistência à compressão simples e à tração na compressão diametral em argamassa com o pó de serra em corpos-de-prova cilíndricos de (5x10)cm foram realizadas conforme normas técnicas da NBR 7215 e NBR 7222 (ABNT).

### 3.6.2 Mistura B

Tabela 3.7 – Mistura B utilizada na produção de blocos de vedação (14x19x39) cm

TRAÇO	Proporcionamento dos materiais em massa						
	Unitário			Total			
	Cimento	Pó de Serra	Agreg. B	Cimento kg	Pó de Serra kg	Agreg. B kg	a/c
A	1	-	10	22	-	220,31	0,70
B	1	0,4	6,26	22	8,86	137,69	0,72
C	1	0,20	8,14	22	4,43	179,00	0,73
umidade do agregado B (%)				6,54 %			
massa específica absoluta do agregado B				2,61 kg/dm <sup>3</sup>			
massa unitária do agregado B seco ( mistura )				1,63 kg/dm <sup>3</sup>			
Módulo de Finura do agregado B				4,2			
massa unitária seco e solto do pó de serra				0,179 kg/dm <sup>3</sup>			
Umidade pó de serra (%)				9,18%			
módulo de finura do pó de serra				2,41			

### 3.6.3 Mistura C

Tabela 3.8 - Mistura C utilizada na produção de blocos de vedação (14x19x39) cm

TRAÇO	Proporcionamento dos materiais em massa								
	Unitário				Total				
	cim.	Pó de serra	agreg. miúdo A	Agreg. graúdo C	cim. kg	Pó de serra kg	Agreg. miúdo A kg	Agreg. graúdo C kg	a/c
Traço A (referência)	1	-	4,31	3,30	22	-	94,87	72,66	<b>0,62</b>
Traço B	1	0,16	3,00	3,30	22	3,44	66,00	72,66	<b>0,68</b>
Traço C	1	0,20	2,63	3,30	22	4,43	57,75	72,66	<b>0,78</b>
Traço D	1	0,25	2,06	3,30	22	5,51	45,38	72,66	<b>0,79</b>
Traço E	1	0,31	1,69	3,30	22	6,89	37,12	72,12	<b>0,82</b>

umidade do agregado miúdo A ( areia fina )	4 %
massa unitária do agregado miúdo A (seco)	1,43 kg/dm <sup>3</sup>
módulo de finura do agregado miúdo A	2,32
massa específica do agregado miúdo A	2,61 kg/dm <sup>3</sup>
massa unitária do pó de serra seco e solto	0,179 kg/dm <sup>3</sup>
umidade do pó de serra (%)	9,18 %
módulo de finura do pó de serra	2,41
massa unitária do agregado graúdo C	1,73 kg/dm <sup>3</sup>
massa específica do agregado graúdo C	2,65 kg/dm <sup>3</sup>
Umidade (%)	0

Tabela 3.9 – Mistura C utilizada na produção de blocos de vedação (14x19x39) cm

Proporcionamento materiais - Mistura C- (Volume)					
TRAÇOS		cim.	Pó de serra	Agreg. miúdo A	Agreg. graúdo C
Traço A	traço referência	1	-	3,83	2,31
Traço B	Agregado miúdo (3,83) *30% pó de serra 70% agregado tipo I	1	1,15	2,68	2,31
Traço C	Agregado miúdo (3,83) *40% pó de serra 60% agregado tipo I	1	1,53	2,30	2,31
Traço D	Agregado miúdo (3,83) *50% pó de serra 50% agregado tipo I	1	1,92	1,92	2,31
Traço E	Agregado miúdo (3,83) *60% pó de serra 40% agregado tipo I	1	2,30	1,53	2,31

\* Volume do pó de serra em relação ao volume de agregado miúdo.

### 3.7 Ensaios dos blocos de concreto utilizados no estudo

#### 3.7.1 Ensaio de resistência à compressão

Os procedimentos para o ensaio de compressão dos blocos seguiram a norma técnica da NBR 7184 (ABNT, 1991).

Para cada traço proposto foram ensaiados três corpos-de-prova secos no ambiente de laboratório. Os blocos ensaiados foram capeados com nata de cimento na espessura de 3mm para

regularização das faces de trabalho, seguindo-se sempre os métodos de ensaios preconizados pelas normas da NBR 7186 (ABNT, 1991).

Durante a execução do ensaio tomou-se cuidado com a questão da planicidade dos pratos da prensa, capeamento e umidade dos blocos para evitar que estes fatores viessem a alterar os resultados de resistência. As placas de aço utilizadas na ruptura dos blocos tem 100mm de espessura evitando desse modo deformações que dissipariam parte do carregamento.

Para que a umidade não viesse a alterar os resultados dos ensaios, os blocos foram estocados em local seco em ambiente de laboratório com uma semana de antecedência até o seu capeamento. Após capeados com nata de cimento, aguardaram 48 horas para o ensaio de ruptura à compressão.

As dimensões dos corpos-de-prova foram medidas com precisão de 0,5mm. O valor médio de cada dimensão do corpo-de-prova foi o resultado da média de três determinações executadas em pontos diferentes, um em cada extremidade e um no meio.

A resistência à compressão é um dos parâmetros mais importante entre as características físicas dos blocos de concreto.

Os valores da resistência à compressão para cada corpo de prova, expresso em MPa, foram obtidos dividindo-se a carga máxima observada durante o ensaio, pela média das áreas das duas faces de trabalho (sem desconto das áreas dos furos e reentrâncias) conforme estabelece as normas da NBR 7184 (ABNT, 1991).

### **3.7.2 Ensaio de umidade, absorção e área líquida dos blocos**

#### **Determinação da Massa seca ( $m_1$ e $m_3$ )**

Os corpos-de-prova (blocos) logo após serem recebidos pelo laboratório, foram pesados, sendo sua massa anotada como  $m_3$ .

Após a pesagem ( $m_3$ ) os CP foram colocados em uma estufa a  $(110\pm 5)^\circ\text{C}$ , por 24 horas, contadas a partir do momento de início de elevação da temperatura. Após as 24 horas os corpos-de-prova foram retirados da estufa e pesados em seguida colocados na estufa por mais 2 horas, sendo que o tempo máximo dos corpos-de-prova fora da estufa não excedeu 10 minutos. Esta operação descrita foi realizada até que em duas pesagens sucessivas não se registrou para o corpo-de-prova diferença de massa superior a 0,5% em relação ao maior valor, e então foi anotado sua massa seca como  $m_1$ .

### **Determinação da massa saturada ( $m_2$ )**

Após a determinação da massa seca, os corpos-de-prova foram esfriados naturalmente (em contato com o ar) à temperatura ambiente e em seguida mergulhados em água à temperatura de  $(23\pm 5)^\circ\text{C}$ , por 24 horas.

Após 24 horas imersos em água (na condição saturada) os corpos-de-prova foram colocados sobre uma tela de 9,5mm de abertura de malha por 60s, em seguida com um pano seco removida a água superficial visível e então pesados mergulhando em seguida novamente em água.

Esta operação descrita foi repetida a cada 2 horas, até que em duas pesagens sucessivas não se registrou para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5% em relação ao maior valor, e então foi anotada sua massa saturada como  $m_2$ .

### **Determinação da massa aparente ( $m_4$ )**

Os corpos-de-prova, após saturados, tiveram suas massas determinadas imersos em água à temperatura de  $(23\pm 5)^\circ\text{C}$ , por meio de balança hidrostática, sendo sua massa aparente anotada como  $m_4$ .

### 3.7.2.1 Determinação do teor de umidade

A porcentagem de umidade de cada bloco, no momento da entrega ao laboratório, expressa como porcentagem da absorção total, foi calculada pela fórmula:

$$u\% = [(m_3 - m_1) \times 100] / (m_2 - m_1) \quad (3.3)$$

### 3.7.2.2 Determinação da absorção de água

A absorção de água foi calculada pela fórmula:

$$a\% = \frac{[(m_2 - m_1) \times 100]}{(m_1)} \quad (3.4)$$

### 3.7.2.3 Determinação da área líquida

A área líquida, expressa em  $\text{cm}^2$ , de cada bloco foi calculada segundo a fórmula:

$$\text{Área líquida} = \frac{(m_2 - m_4)}{h \cdot \gamma \cdot 1000} \quad (3.5)$$

onde :

$\gamma$  = massa específica da água utilizada no ensaio, expressa em  $\text{g/cm}^3$  ;

$h$  = altura média do corpo de prova medida na direção perpendicular à seção de trabalho, expressa em cm;

$m_2$  = massa saturada do corpo de prova , expressa em kg;

$m_4$  = massa aparente do corpo de prova, expressa em kg.

### **3.8 Elementos de enchimento das pré-lajes**

A resistência à ruptura deve ser suficiente para resistir a carga de trabalho durante a montagem da laje conforme item 4.3.3 da NBR 14.860-1 (ABNT, 2002), bem como estar isentos de partes quebradas e trincas que comprometam o seu desempenho ou que permitam a fuga do concreto.

### **3.9 Determinação da resistência térmica pelo método fluximétrico**

Utilizamos no presente trabalho técnicas fluximétricas para medir a resistência térmica em regime estacionário através de corpos-de-prova na forma de placas planas de 10cm de largura por 10cm de comprimento e espessura de 2,50 cm.

Os ensaios foram realizados em um equipamento denominado Condutivímetro Fluximétrico, seguindo os procedimentos descritos na norma técnica da ABNT (2003) que foi redigida em conformidade com a ISO 8301- 1991: "*Standart Test Method for Steady-State Heat*

*Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus".*

O método baseia-se na medição da resistência térmica em regime estacionário (medição feita com fluxo de calor constante), primeiramente com aplicação de uma densidade de fluxo de calor simultaneamente constante e unidirecional, a partir de duas superfícies isotérmicas mantidas a temperaturas constantes e diferentes uma da outra, através da zona central de medição de um fluxímetro e da zona central de uma amostra em forma de placa plana.

O dispositivo de medição compreende uma placa aquecedora, dois fluxímetros, uma amostra (corpo de prova) e uma placa de resfriamento cuja configuração de medição é denominada de “simétrica com dois fluxímetros e um corpo de prova,” conforme indicado esquematicamente na Figura 3.3.

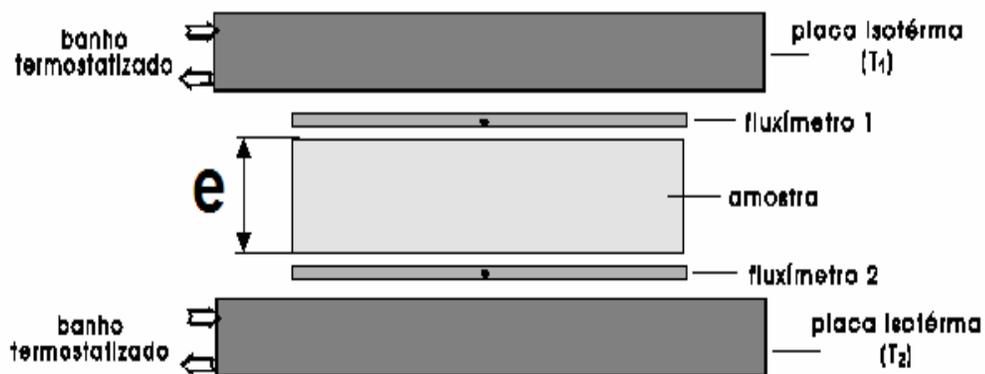


Figura 3.3 – Princípio do método de medição da Resistência Térmica

O cálculo da resistência térmica ( $r$ ) foi feito pelo quociente entre a diferença de temperatura entre as faces da amostra ( $T_1 - T_2$ ) e de  $q_1$  e  $q_2$  densidade de fluxo de calor medido pelos fluxímetros 1 e 2 .

$$r = \frac{T_1 - T_2}{\left( \frac{q_1 + q_2}{2} \right)} \quad (3.6)$$

onde :

$r$  : resistência térmica ( $m^2 K/W$ );

$q_1$  e  $q_2$  : densidade de fluxo de calor medido pelos fluxímetros 1 e 2 ( $W/m^2$ );

$T_1$  e  $T_2$  : temperaturas superficiais da amostra ( K )

Considerando que a amostra é homogênea, é possível determinar a condutividade térmica do material ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \frac{e}{r} \quad (3.7)$$

onde :

$\lambda$  : é a condutividade térmica ( $W/m K$ );

$e$  : é a espessura da amostra (m).

As amostras foram executadas nas dimensões 100 x 100 x 25 mm, em função do tipo de material de acordo com as especificações da ABNT (2003). Dessa maneira os blocos de concreto, convencional e com adição do pó de serra, foram serrados com maquina nas dimensões (100x100x25) mm.

Também foram confeccionadas amostras no traço 1: 0,4 em massa (1 de cimento CP V-ARI e 0,4 de pó de serra) em formas de madeira. Foram realizados ensaios em dois corpos-de-prova (repetições) para cada traço. As determinações foram feitas após 28 dias da moldagem dos corpos-de-prova.

O condutivímetro fluximétrico é acoplado a um sistema de aquisição de dados HP 3852 – 44705A, conectado a um micro computador, que monitoram o fluxo de calor e as temperaturas durante cada ensaio.

O sistema de aquisição de dados recebe informações dos fluxímetros 1 e 2 e do termopar a cada leitura programada. O calor é fornecido para a amostra por uma resistência aquecedora (placa quente), alimentada por uma fonte de corrente contínua apresentando as seguintes leituras: 13,35 volts e 0,23 amperes. A placa fria é ligada a um dispositivo de banho termostaticado, responsável em manter sua temperatura constante na faixa de 20°C.

O dispositivo de medição foi mantido sob pressão de 0,08 kgf/cm<sup>2</sup> durante os ensaios, através de um sistema basculante, com a finalidade de diminuir a resistência térmica de contato mostrado na Figura 3.4.

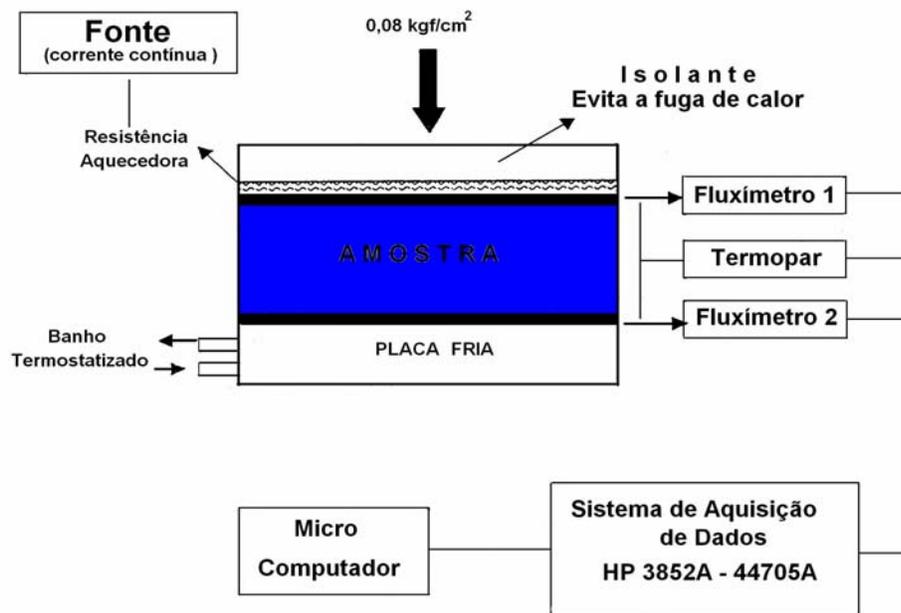


Figura 3.4 – Esquema geral – Método Fluximétrico

Diferença de temperatura nas faces da amostra : 12°C

Incerteza de medição : 0,02W/mK

Os resultados são mostrados na Tabela 4.20 da página 115 do capítulo 4.

## 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Caracterização do pó de serra

A classificação granulométrica (Tabela 4.1) do pó de serra foi realizada através de três ensaios especificando-se suas características, tais como o módulo de finura, diâmetro máximo característico e umidade.

As amostras do pó de serra foram secas em estufa a 60 °C, até constância de massa. A curva granulométrica do agregado nos três ensaios foi classificada como pertencente à zona média (zona 3), segundo a normas da NBR 7221 (ABNT) . As porcentagens retidas e acumuladas nas peneiras são mostradas na Tabela 4.A do Anexo A .

Tabela 4.1 – Resultados do ensaio de caracterização do pó de serra

Características	Resultados
Dimensão máxima característica (mm)	2,40
Módulo de Finura	2,41
Umidade (%)	9,18%
Massa unitária seco e solto	0,179 kg/dm <sup>3</sup>
Massa unitária seco e compactada	0,195 kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica real	1223 g/cm <sup>3</sup>

## 4.2 Determinação do teor de umidade do pó de serra

Determinou-se três valores de teor de umidade, sendo obtido a média dos valores nos ensaios de caracterização, mostrados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Determinação do teor de umidade do pó de serra

Amostra	Peso Úmido - gramas	Peso Seco – gramas	$u_a$ %
01	15,750	14,420	9,220
02	15,900	14,570	9,130
03	16,340	14,965	9,188
		MÉDIA	9,179

## 4.3 Determinação da massa unitária do pó de serra

Foram elaborados conforme as normas técnicas da NBR 7251 (ABNT, 1982) e NBR 7810 (ABNT, 1983), satisfazendo a exigência fixada por norma, em até 1 % da variação dos resultados individuais em relação ao valor médio determinado mostrado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Determinação da massa unitária do pó de serra

AMOSTRA Pó de serra  $u_a = 9,18\%$	Massa da Amostra (kg)		Massa Unitária (kg/m <sup>3</sup> )	
	Estado Seco e Solto	Estado Seco e Compactado	Seco e Solto	Seco e Compactado
01	3,07	6,46	0,198	0,215
02	3,06	6,45	0,197	0,215
03	3,03	6,42	0,195	0,214
Média	3,05	6,44	0,197	0,215
Seco	2,77	5,85	0,179	0,195

Volume do recipiente utilizado para determinação da massa unitária no estado seco e solto: 15,50 dm<sup>3</sup>.

Volume do recipiente utilizado para determinação da massa unitária no estado seco e compactado: 30 dm<sup>3</sup>.

Massa unitária do pó de serra

- Massa = 3,05 kg com umidade de 9,18%
- Estado Seco e Solto  $\rightarrow \gamma_{ss} = 0,179 \text{ kg/m}^3$
- Estado Seco e Compactado  $\rightarrow \gamma_{sc} = 0,195 \text{ kg/m}^3$

#### 4.4 Determinação da massa específica do pó de serra pelo frasco de Chapman

Na tabela 4.4 estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios para determinação da massa específica do pó de serra.

Tabela 4.4 – Leitura dos ensaios de massa específica absoluta – Frasco de Chapman

	Leitura (cm <sup>3</sup> )		Massa Específica (g / cm <sup>3</sup> )
01 dia	L <sub>1</sub>	413	1,19
	L <sub>2</sub>	412	1,21
02 dia	L <sub>1</sub>	410	1,25
	L <sub>2</sub>	409	1,27
03 dia	L <sub>1</sub>	412	1,21
	L <sub>2</sub>	412	1,21

O valor da massa específica absoluta média é  $\gamma_a = 1,22 \text{ g/cm}^3$

$$\gamma_a = 75 / (L - 350) \quad (4.1)$$

onde :

$\gamma_a$  = massa específica do pó de serra (g / cm<sup>3</sup>)

L = leitura do frasco, ocupado pelo pó de serra. (cm<sup>3</sup>)

#### **4.5 Determinação das propriedades dos blocos de concreto das misturas propostas**

A determinação das propriedades dos blocos de concreto das misturas propostas foram realizadas de acordo com as seguintes normas:

1. Determinação da Resistência à Compressão - NBR 7184 (ABNT, 1991)
2. Determinação da Absorção de Água - MB – 3459 (ABNT, 1991)
3. Determinação do Teor de Umidade – MB – 3459 (ABNT, 1991)
4. Determinação da área Líquida – MB – 3459 (ABNT, 1991)
5. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural – NBR 7173 (ABNT, 1982)

#### 4.5.1 Resultados obtidos para a mistura A

A seguir, estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos corpos-de-prova (5x10) cm e da resistência à compressão e massa dos blocos de concreto.

Tabela 4.5 - Resistência à compressão corpos-de-prova (5x10) cm – Mistura A

Traço	Corpos-de- prova	Resistência à compressão MPa	Resistência à tração MPa
1 : 0,4 : 0,78 ( massa )	CP 1	8,10	1,30
	CP 2	7,80	1,32
	CP 3	8,40	1,42
	fck	8,10	1,35

Tabela 4.6 – Resultados da resistência à compressão e massa (seco em ambiente de laboratório) dos blocos de concreto – Mistura A

	CP	alt. x larg.x comp.	Área	Carga	Resistência	Massa
	n°	(cm)	cm <sup>2</sup>	KN	(MPa)	(g)
Traço A	1	19 x 14 x 38,7	541,8	42	0,8	5.200
	2	19 x 14 x 38,7	541,8	50	0,9	5.500
	3	19 x 14 x 38,7	541,8	52	1,0	5.500
Média					0,9	5.400

Absorção de Água : 37 %

Teor de Umidade : 9,19%

## 4.5.2 Resultados obtidos para as mistura B

### 4.5.2.1 Determinação da massa, teor de umidade, absorção de água, área líquida e resistência à compressão dos blocos de concreto – Mistura B

A seguir, estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios para determinação da massa, teor de umidade, absorção de água, área líquida e resistência à compressão dos blocos de concreto da mistura B (tabelas e figuras).

#### Massa dos Blocos

A Figura 4.1 mostra os resultados médios obtidos para a massa dos blocos. Os resultados individuais da massa dos blocos da mistura B são mostrados na Tabela 5.A do Anexo A.

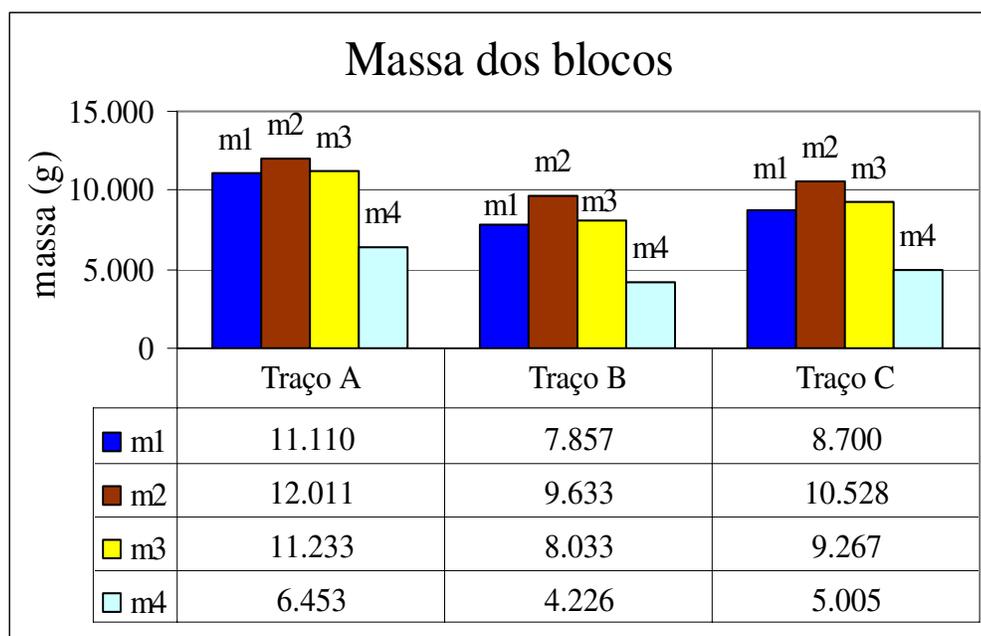


Figura 4.1 – Média dos resultados obtidos nos ensaios da massa dos blocos de concreto

## Teor de Umidade

A porcentagem de umidade de cada bloco, no momento da entrega ao laboratório, expressa como porcentagem da absorção total, dada pela fórmula:

$$u(\%) = [(m_3 - m_1).100]/(m_2 - m_1) \quad (4.2)$$

Tabela 4.7 – Resultados individuais obtidos nos ensaios do teor de umidade dos blocos de concreto, comparados com o limite estabelecido pela NBR – 7173 (ABNT, 1982)

Mistura B	CP 1 (%)	CP 2 (%)	CP 3 (%)	Limite de Norma (NBR 7173/82) (%)
Traço A (Referência)	17	13	11	40
Traço B	11	7	12	
Traço C	7	23	53	

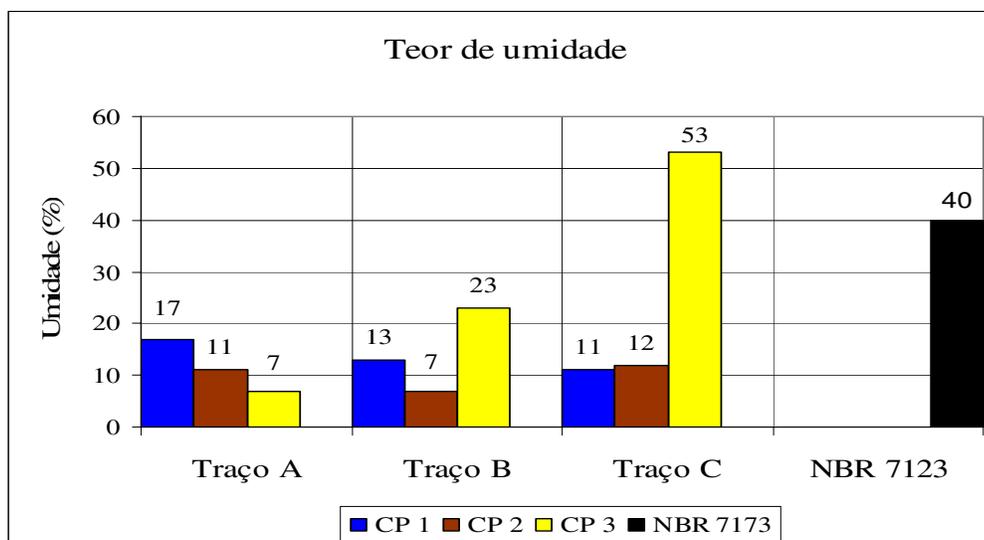


Figura 4.2 – Resultados individuais obtidos nos ensaios do teor de umidade dos blocos de concreto, comparados com o limite estabelecido pela NBR – 7173 (ABNT, 1982)

## Absorção de Água

A absorção de água está diretamente ligada à porosidade dos blocos. Segundo a NBR – 7173 (ABNT, 1982), os blocos para alvenaria de vedação devem possuir absorção individual no máximo igual a 15% (quinze por cento) e média com relação aos blocos ensaiados no máximo igual a 10% (dez por cento).

O valor da absorção de água, expresso em porcentagem, de cada corpo de prova, é calculado pela fórmula:

$$a(\%) = [(m_2 - m_1).100] / m_1 \quad (4.3)$$

Tabela 4.8 – Resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto, comparados com o limite individual estabelecido pela NBR 7173 (ABNT, 1982)

Ensaio mistura B	CP 1 %	CP 2 %	CP 3 %	Limite Individual NBR 7173/82 (%)
Traço A (Referência)	8	8	8	15
Traço B	23	23	22	
Traço C	16	19	27	

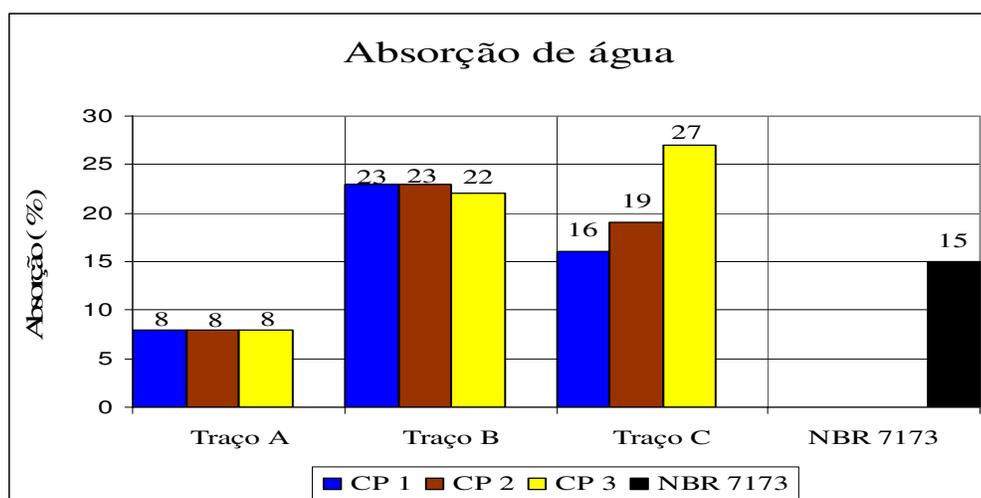


Figura 4.3 – Resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto, comparados com o limite individual estabelecido pela NBR 7173 (ABNT, 1982)

Tabela 4.9 – Média dos resultados obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto, comparados com o limite médio estabelecido pela NBR – 7173 (ABNT, 1982)

Ensaio mistura B	Média (%)	Limite médio NBR 7173/82 (%)
Traço A (Referência)	8	10
Traço B	23	
Traço C	21	

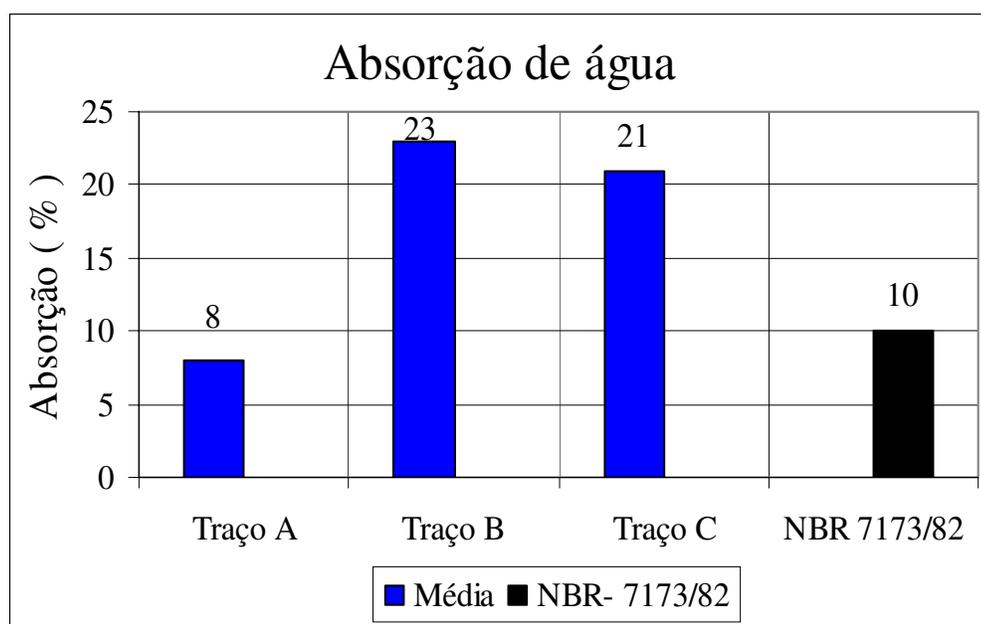


Figura 4.4 – Média dos resultados obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto, comparados com o limite médio estabelecido pela NBR – 7173 (ABNT, 1982)

### Área Líquida dos Blocos

A área líquida de cada corpo de prova é calculado pela fórmula:

$$\text{Área Líquida} = (m_2 - m_4) / h.\gamma.1000 \quad (4.4)$$

Tabela 4.10 – Resultados obtidos nos ensaios da área líquida dos blocos de concreto conforme NBR 7173 (ABNT, 1982)

Traços Ensaio mistura B		Área Líquida cm <sup>2</sup>
Traço A (Referência)	CP 1	291
	CP 2	292
	CP 3	294
	Média	292
Traço B	CP 1	286
	CP 2	285
	CP 3	282
	Média	284
Traço C	CP 1	293
	CP 2	293
	CP 3	286
	Média	291

### Resistência à compressão

Os valores da resistência à compressão para cada corpo-de-prova, expresso em MPa, foram obtidos dividindo-se a carga máxima observada durante o ensaio, pela média das áreas das duas faces de trabalho (sem desconto das áreas dos furos e reentrâncias) conforme estabelece a norma técnica da NBR 7184 (ABNT, 1991), mostrados na Tabela 4.11, Figura 4.5 e Figura 4.6.

Data de moldagem : 25/09/03

Data de rompimento : 10/10/03

Idade : 14 dias

Tabela 4.11 - Resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão e massa (seco em ambiente de laboratório) dos blocos de concreto

	C.P	alt. x larg.x comp.	Área	Carga	Resistência	Massa
	n°	(cm)	cm <sup>2</sup>	KN	(MPa)	( g )
Traço A (referência)	1	19 x 14 x 38,9	544,6	137,0	2,5	11.250
	2	19 x 14 x 38,8	543,2	135,0	2,5	11.200
	3	19 x 14 x 38,7	541,8	139,0	2,6	11.250
Média					2,5	11.233
Traço B	1	19,0 x 14 x 39	546,0	42,0	0,8	8.100
	2	19,0 x 14 x 38,9	544,6	43,5	0,8	8.000
	3	19,1 x 14 x 38,9	544,6	45,0	0,8	8.000
Média					0,8	8.033
Traço C	1	19,0 x 14,0 x 39	546,0	82,0	1,5	9.100
	2	19,1 x 14,1 x 39	546,0	83,0	1,5	9.200
	3	19,0 x 14,0 x 38,9	544,6	84,0	1,5	9.500
Média					1,5	9.267

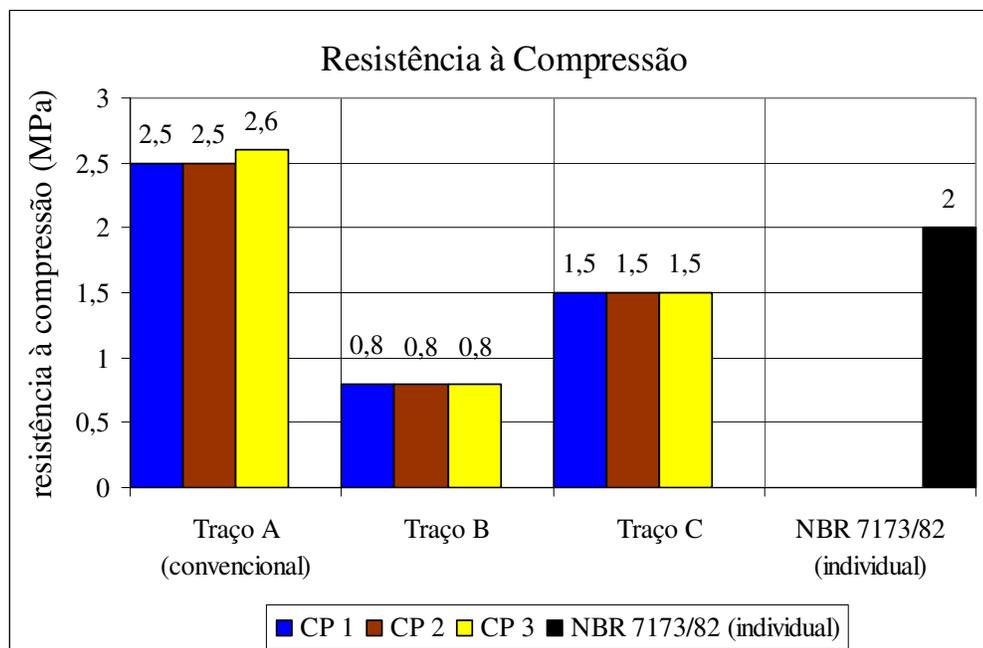


Figura 4.5 – Resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos blocos de concreto comparados com o estabelecido pela NBR 7173 (ABNT, 1982)

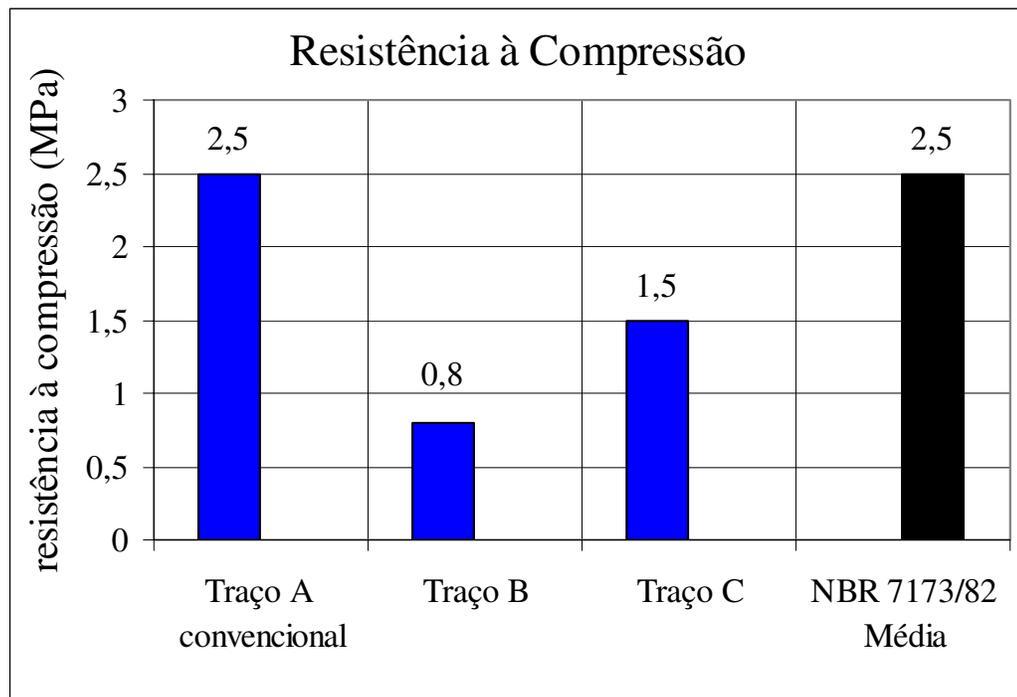


Figura 4.6 – Média dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos blocos de concreto comparados com o estabelecido pela NBR 7173 (ABNT, 1982)

### 4.5.3 Resultados obtidos para a mistura C

Data de moldagem : 25/09/03

Data de rompimento : 10/10/03

Idade : 14 dias

Nesta série de ensaios foram reduzidas as falhas encontradas na empresa como a inadequada realização da cura dos blocos, a não utilização de agregados que proporcionem uma otimização no traço do concreto e a deficiência no controle de qualidade dos insumos.

A quantidade de água sofreu variação em cada traço, de modo a identificar o teor de umidade que conduziria a maior valor de compacidade, o que equivale a buscar a umidade ótima da mistura para produzir o maior adensamento possível no bloco. Apertar o concreto nas palmas das mãos foi o procedimento utilizado na avaliação visual do aspecto do concreto.

#### **4.5.3.1 Proporcionalamento dos materiais utilizadas na mistura C para a produção do bloco de concreto de referência**

A composição dos agregados foi determinada para produzir a maior compacidade possível. O procedimento para a determinação da melhor composição de agregados consistiu em colocar os agregados previamente misturados num recipiente, adensar, rasar e pesar. A composição de agregados seguiu a recomendação do Manual do Processo Construtivo Poli-Encol: Blocos e Pré-moldados (1991), ou seja, o método estipula inicialmente um proporcionalamento pré-estabelecido dentro de uma faixa de 40% para a brita 0 e 60% para a areia média, em massa, variando estas percentagens de acordo com a análise granulométrica dos mesmos.

##### **Agregados**

As composições de agregados analisados foram de:

- 39% de brita 0 e 61% de areia;
- 41% de brita 0 e 59% de areia;

- 43% de brita 0 e 57% de areia e
- 45% de brita 0 e 55% de areia

A composição que apresentou maior massa foi a de 43% do agregado graúdo e 57% do agregado miúdo, escolhida dessa maneira para o traço de referência.

O adensamento foi feito com uma haste de ferro de 25 mm de diâmetro. Foram dados golpes para cada 100cm<sup>2</sup> de área de boca de um recipiente de 30cm de largura por 30 cm de comprimento por 25cm de altura, com uma área de 900 cm<sup>2</sup> (72 golpes). Os agregados foram secos para a realização deste procedimento.

### **Quantidade de água**

A quantidade de água foi obtida até o limite em que os blocos começaram a perder a coesão, ou seja, até os blocos produzidos começaram a ficar presos no molde. (Procedimento visual).

### **Determinação do módulo de finura da mistura utilizada na produção dos blocos de concreto de referência.**

Nas Tabelas 4.12; 4.13; 4.14 e Figura 4.7, são mostrados os resultados dos ensaios da distribuição granulométrica dos agregados e da mistura utilizada na produção dos blocos de concreto de referência.

Tabela 4.12 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo A (areia)

Abertura peneiras (mm)	Retida %	Retida acumulada %
6,3	0	0
4,8	1	1
2,4	5	6
1,2	10	16
0,6	22	38
0,3	38	76
0,15	21	97
Fundo	3	100

M.F. = 2,34

Tabela 4.13 – Distribuição granulométrica do agregado graúdo C (brita 0)

Abertura peneiras (mm)	Retida %	Retida acumulada %
12,7	0	0
9,5	0	0
6,3	30	30
4,8	39	69
2,4	27	96
1,2	2	98
0,6	1	99
0,3	0	99
0,15	0	99
Fundo	1	100

M.F. = 5,60

**Módulo de Finura e granulometria da mistura para o concreto de referência.**

Tabela 4.14 – Granulometria e módulo de finura do concreto de referência

Peneira (mm)	Porcentagens %			Retida acumulada
	Retida			
12,7	0,57 x 0	+ 0,43 x 0	= 0	0
9,5	0,57 x 0	+ 0,43 x 0	= 0	0
6,3	0,57 x 0	+ 0,43 x 30	= 13	13
4,8	0,57 x 1	+ 0,43 x 39	= 17	30
2,4	0,57 x 5	+ 0,43 x 27	= 14	44
1,2	0,57 x 10	+ 0,43 x 2	= 7	51
0,6	0,57 x 22	+ 0,43 x 1	= 13	64
0,3	0,57 x 38	+ 0,43 x 0	= 22	86
0,15	0,57 x 21	+ 0,43 x 0	= 12	98
Fundo	0,57 x 3	+ 0,43 x 1	= 2	100
Total	100,0			

Módulo de finura encontrado para a mistura (M.F) = 3,74

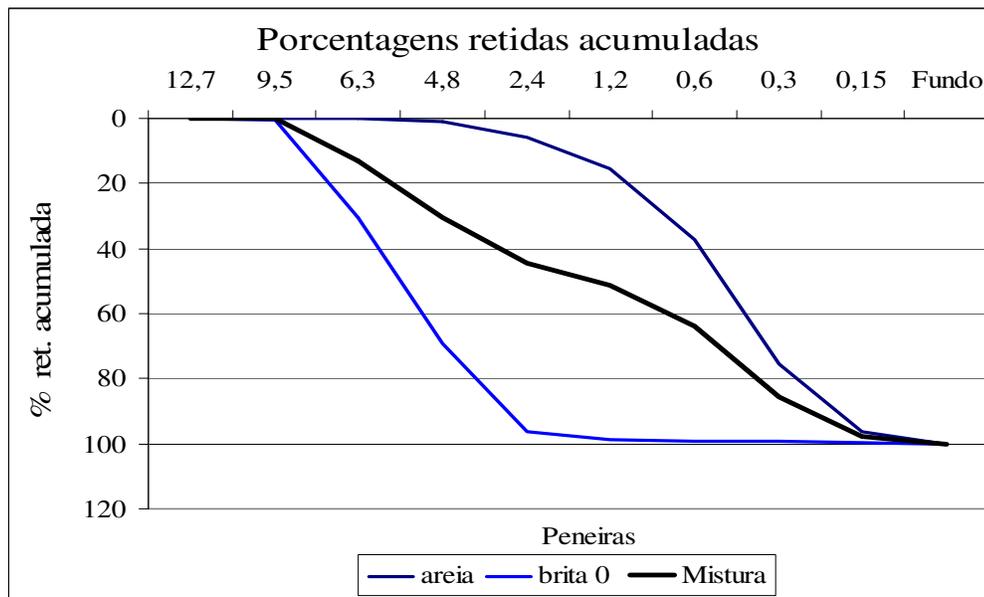


Figura 4.7– Gráfico das granulometrias do agregado miúdo, agregado graúdo e mistura encontrada (M.F. 3,74)

Como podemos observar o M.F. da mistura esta dentro do intervalo recomendado no manual ENCOL/IPUSP (entre 3,6 a 3,75).

#### 4.5.3.2 Determinação da massa, teor de umidade, absorção de água, área líquida e resistência à compressão dos blocos de concreto – Mistura C

A seguir, estão apresentados os resultados dos ensaios para determinação da massa, teor de umidade, absorção de água, área líquida e resistência à compressão dos blocos de concreto da mistura C (tabelas e figuras).

##### Massa dos Blocos

A Figura 4.8 mostra os resultados médios obtidos para a massa dos blocos da mistura C. Os resultados individuais da massa dos blocos da mistura C são mostrados na Tabela 6.A do Anexo A .

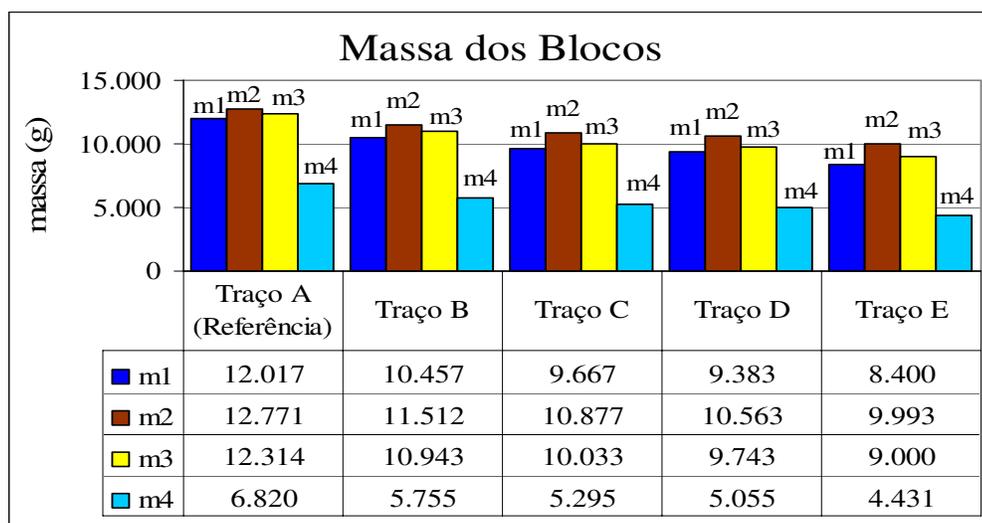


Figura 4.8 – Média dos resultados obtidos nos ensaios da massa dos blocos de concreto

## Teor de umidade

A porcentagem de umidade de cada bloco, no momento da entrega ao laboratório, expressa como porcentagem da absorção total, dada pela fórmula

$$u(\%) = [(m_3 - m_1) \cdot 100] / (m_2 - m_1) \quad (4.5)$$

A umidade presente nos blocos no momento da entrega na obra (ou no laboratório) não deve ser acentuada pois pode causar defeitos na construção devido à retração hidráulica que ocorre após o assentamento.

A norma técnica da NBR 7173 (ABNT, 1982) especifica que os blocos de concreto não deverão apresentar umidade superior a 40% da quantidade de água fixada como absorção máxima, os resultados dos ensaios são mostrados na Tabela 4.15 e Figura 4.9.

Tabela 4.15 – Resultados individuais obtidos nos ensaios do teor de umidade dos blocos de concreto, comparados com o limite estabelecido pela NBR – 7173 (ABNT, 1982)

Ensaio mistura C	CP 1 %	CP 2 %	CP 3 %	Média %	Limite de Norma (NBR7173/82) %
Traço A (Referência)	28	40	50	39	40
Traço B	43	47	48	46	
Traço C	28	33	30	30	
Traço D	33	29	30	30	
Traço E	48	42	22	37	

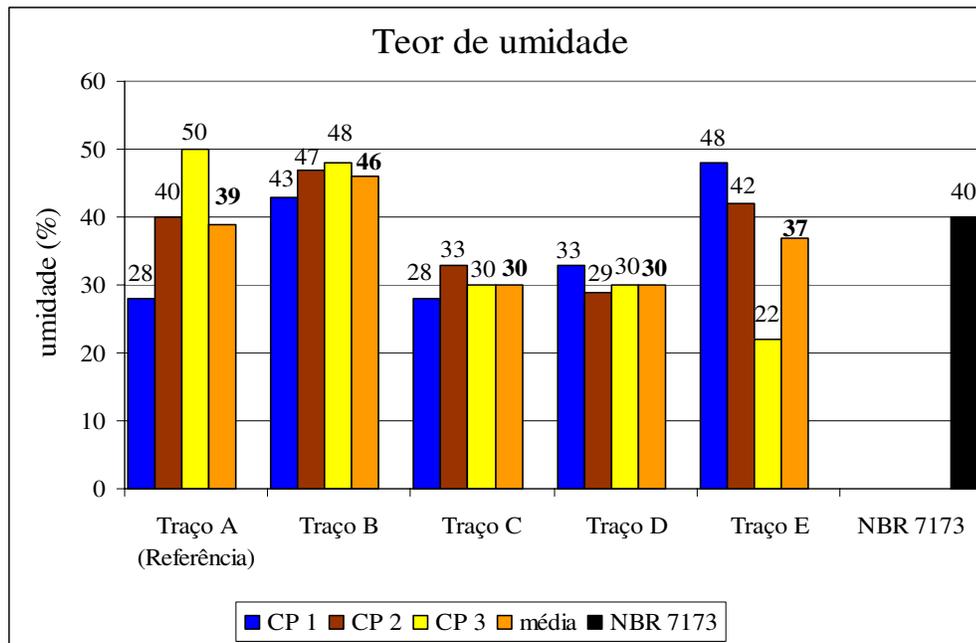


Figura 4.9 – Resultados individuais obtidos nos ensaios do teor de umidade dos blocos de concreto, comparados com o limite estabelecido pela NBR – 7173 (ABNT, 1982)

### Absorção de Água

A absorção de água está diretamente ligada à porosidade dos blocos. Segundo a NBR – 7173 (ABNT, 1982), os blocos para alvenaria de vedação devem possuir absorção individual no máximo igual a 15% (quinze por cento) e média com relação aos blocos ensaiados no máximo igual a 10% (dez por cento).

Os valores da absorção de água, expresso em porcentagem, de cada corpo de prova são mostradas na Tabela 4.16 e Figura 4.10.

Tabela 4.16 - Resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto, comparados com o limite individual estabelecido pela NBR 7173 (ABNT, 1982)

Ensaio mistura C	CP 1 %	CP 2 %	CP 3 %	Média %	Limite Individual NBR 7173/82 %
Traço A (Referência)	6	7	6	6	15%
Traço B	10	10	10	10	
Traço C	13	12	12	12	
Traço D	13	12	13	13	
Traço E	15	25	18	19	

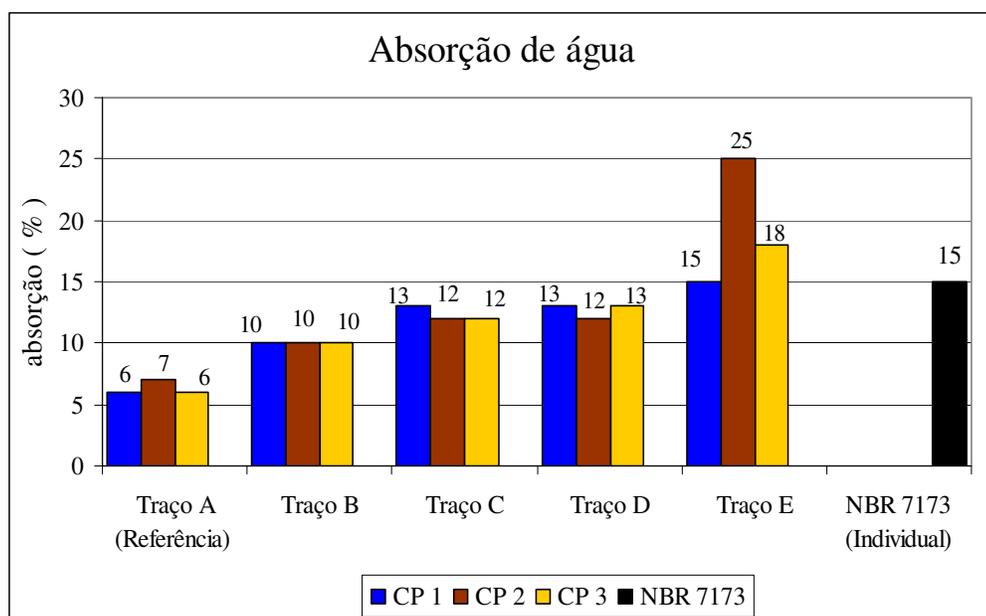


Figura 4.10 - Resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto, comparados com o limite individual estabelecido pela NBR 7173 (ABNT, 1982)

Os valores médios da absorção de água, expresso em porcentagem são mostradas na Tabela 4.17 e Figura 4.11.

Tabela 4.17 – Média dos resultados obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto, comparados com o limite médio estabelecido pela NBR – 7173 (ABNT, 1982)

Ensaio mistura C	CP 1 %	CP 2 %	CP 3 %	Média %	Limite médio (NBR7173/82) %
Traço A (Referência)	6	7	6	6	10
Traço B	10	10	10	10	
Traço C	13	12	12	12	
Traço D	13	12	13	13	
Traço E	15	25	18	19	

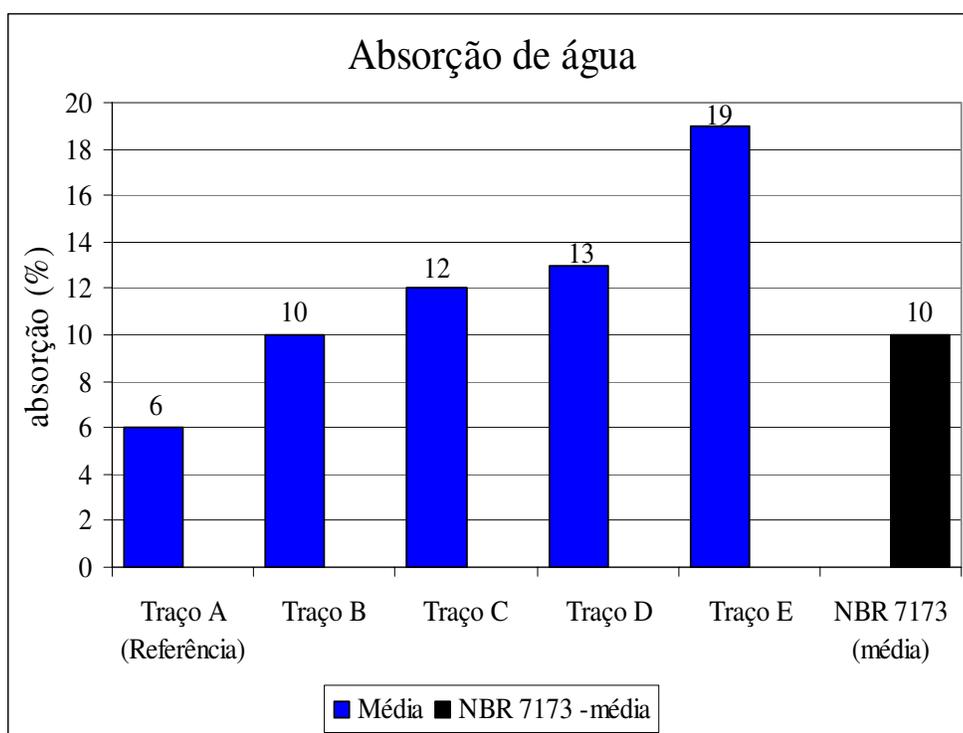


Figura 4.11 – Média dos resultados obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto, comparados com o limite médio estabelecido pela NBR – 7173 (ABNT, 1982)

### Área Líquida dos Blocos

A área líquida média dos corpos-de-prova são mostrados na Tabela 4.18. Os resultados individuais são mostrados na Tabela 7.A do Anexo A .

A área líquida foi calculada pela fórmula:

$$\text{Área Líquida} = (m_2 - m_4) / h \cdot \gamma \cdot 1000 \quad (4.6)$$

Tabela 4.18 – Média dos resultados obtidos nos ensaios da área líquida dos blocos de concreto conforme estabelece a norma da NBR 7173 (ABNT, 1982)

Traços Ensaio mistura C		Área Líquida cm <sup>2</sup>
Traço A	Média de 3 CP	313
Traço B	Média de 3 CP	303
Traço C	Média de 3 CP	294
Traço D	Média de 3 CP	290
Traço E	Média de 3 CP	293

### Resistência à compressão dos blocos de concreto

Data de moldagem : 19/10/03

Data de rompimento : 03/11/03

Idade : 14 dias

As seguir tem-se a representação gráfica e tabelas dos resultados dos ensaios da resistência à compressão dos blocos de concreto da mistura C.

Tabela 4.19 – Resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão e massa (seco em ambiente de laboratório) dos blocos de concreto

	CP	alt. x larg. x comp.	Área	Carga	Resistência	Massa
	n°	(cm)	cm <sup>2</sup>	KN	(MPa)	( g )
Traço A	1	19 x 14 x 38,7	541,8	291,0	5,4	12.700
	2	19 x 14 x 38,7	541,8	281,5	5,2	12.600
	3	19 x 14 x 38,7	541,8	279,5	5,2	11.900
Média					5,3	12.400
Traço B	1	19,0 x 14 x 38,9	544,6	285,0	5,2	10.980
	2	19,0 x 14 x 38,9	544,6	282,5	5,2	10.850
	3	19,1 x 14 x 38,9	544,6	278,0	5,1	10.800
Média					5,2	10.877
Traço C	1	19,0 x 14,0 x 38,9	544,6	215,0	4,0	10.100
	2	19,1 x 14,1 x 38,9	548,5	213,2	3,9	10.050
	3	19,0 x 14,0 x 38,9	544,6	212,0	3,9	10.020
Média					4,0	10.057
Traço D	1	19,0 x 14,0 x 38,9	544,6	157,0	2,9	9.700
	2	19,0 x 14,0 x 38,9	544,6	147,5	2,7	9.650
	3	19,0 x 14,0 x 38,9	544,6	146,0	2,7	9.600
Média					2,8	9.650
Traço E	1	19,0 x 14,0 x 38,9	544,6	85,5	1,6	9.700
	2	19,0 x 14,0 x 38,9	544,6	73,5	1,4	9.500
	3	19,0 x 14,0 x 38,9	544,6	72,0	1,3	9.400
Média					1,4	9.533

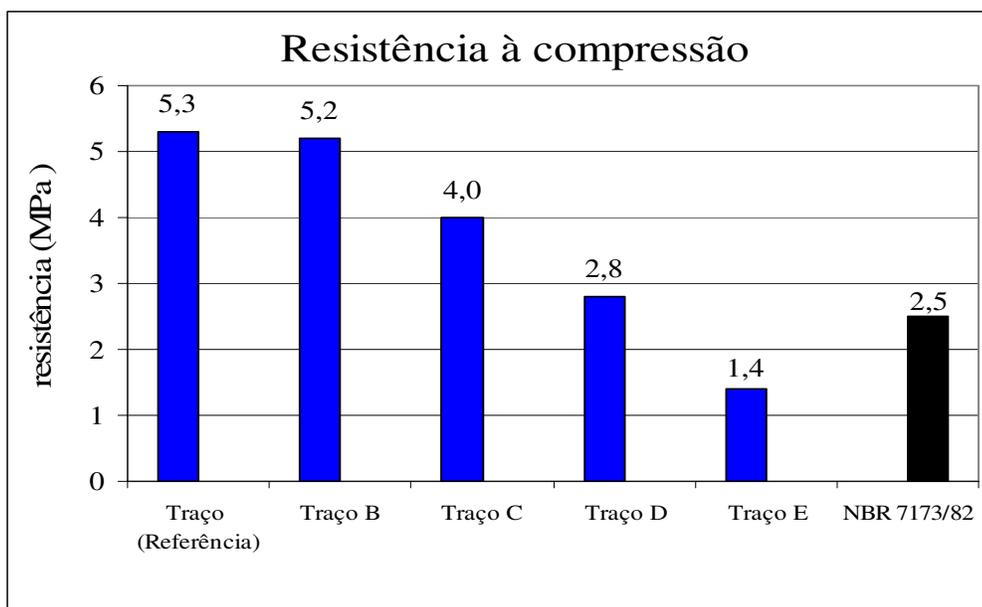


Figura 4.12 – Média dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos blocos de concreto comparados com o estabelecido pela NBR 7173 (ABNT, 1982)

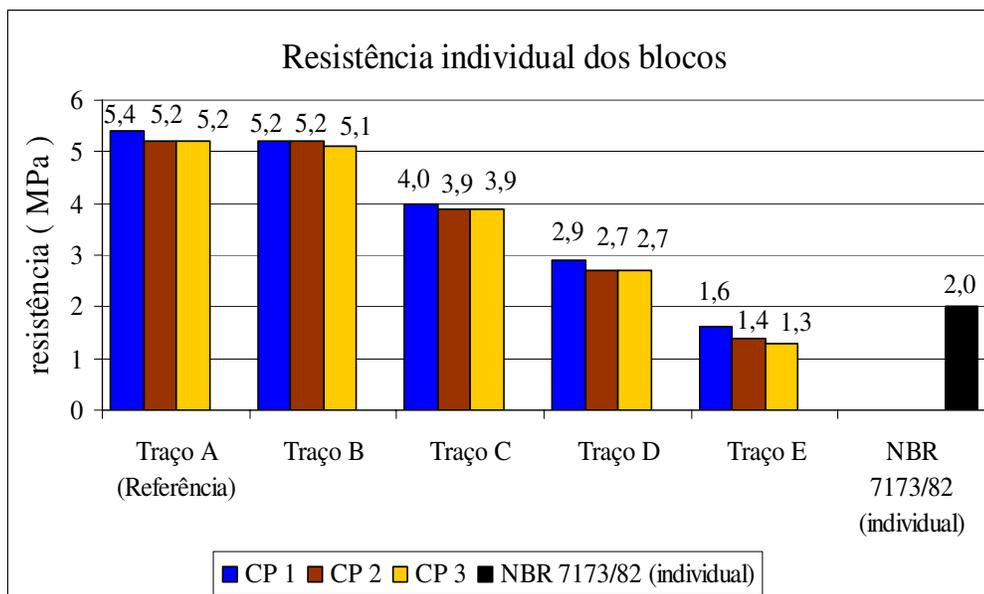


Figura 4.13 – Resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos blocos de concreto comparados com o estabelecido pela NBR 7173 (ABNT, 1982)

## 4.5 Condutividade térmica

Os valores da condutividade térmica foram determinadas para cada traço selecionado conforme mostra a Tabela 4.20. Os valores apresentados para a condutividade térmica são resultados da avaliação do comportamento dos blocos de concreto moldados a partir das composições de maior interesse na pesquisa.

Tabela 4.20 - Resultados da condutividade térmica dos traços selecionados entre as misturas estudadas.

Traços (em massa) - selecionados entre as misturas propostas		Condutividade térmica ( W/mK )
Traço 01 → 1 : 0,4 (0,78) cimento : pó de serra : água/cimento MISTURA A	argamassa	0,26
Traço 02 → 1 : 4,31 : 3,30 ( 0,62 ) cimento : agreg.miúdo A : agreg. graúdo C : água/cimento traço A (referência) – MISTURA C	Traço de referência	0,93
Traço03 → 1 : 0,25 : 2,06 : 3,30 ( 0,79 ) cimento: pó de serra:ag. miúdo A: ag. graúdo C: água/cimento Traço D (proposto) – MISTURA C	Traço proposto para alvenaria de vedação	0,38

## 4.6 Discussão dos resultados

A Tabela 4.21 e a Figura 4.14 mostram os resultados da condutividade e resistência térmica, massa e resistência à compressão dos blocos de concreto para o traço A (referência) e traço D da mistura C e traço 1 : 0,4 (cimento e pó de serra) da mistura A .

Tabela 4.21 - Resultados da resistência à compressão, condutividade térmica, resistência térmica e massa dos blocos para os traços selecionados entre as misturas estudadas.

Traços em massa	Condutividade térmica ( W/mK )	Massa média blocos ( kg )	Resistência à compressão ( MPa )	Resistência térmica (W/m <sup>2</sup> K)
Traço 01 → 1 : 0,4 (0,78) cimento : pó de serra : a/c MISTURA A	0,26	5,4	0,9	0,55
Traço 02 → 1 : 4,31 : 3,30: (0,62) cimento : ag.miúdo A : ag. graúdo C : a/c traço A (referência) MISTURA C	0,93	12,4	5,2	0,37
Traço03 →1 : 0,25 : 2,06 : 3,30 (0,79) cimento: pó de serra:ag. miúdo A: ag. graúdo C : a/c Traço D (proposto) MISTURA C	0,38	9,6	2,8	0,47

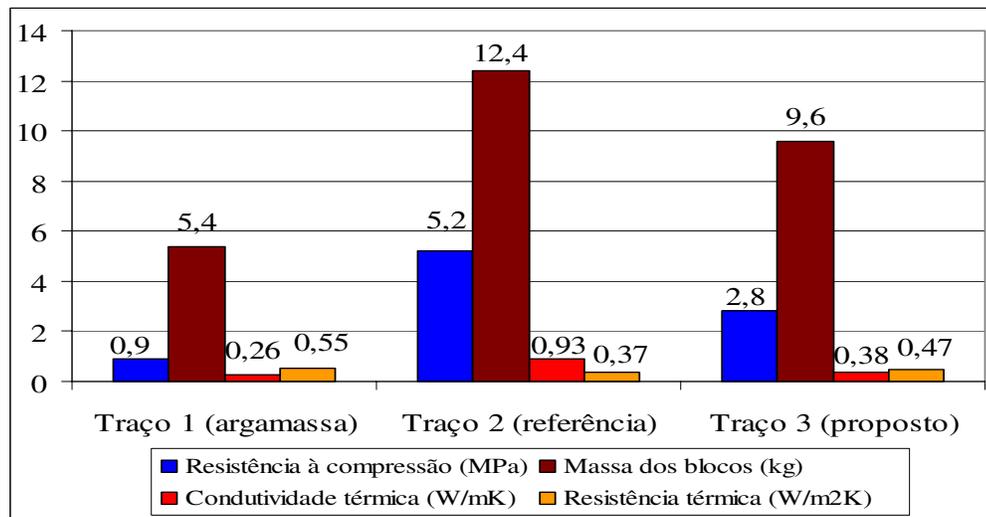


Figura 4.14 – Resultados comparativos entre a condutividade térmica, resistência térmica, massa e resistência à compressão dos blocos de concreto selecionados.

Conforme mostra a Figura 4.14, a condutividade térmica depende da massa do material. Como o material possui poros, a baixa condutividade térmica do ar proporciona maior resistência térmica aos materiais estudados, ou seja, a maior quantidade de ar existente nos vazios contido em seus poros aumenta a resistência térmica total dos blocos de concreto.

A resistência à compressão também apresentou uma correlação com a condutividade térmica, observa-se através do gráfico da Figura 4.14 que, com o aumento do valor da resistência à compressão, aumenta-se a condutividade térmica. Este aumento da resistência mecânica deve-se a maior massa e ao grau de compactação nos blocos de concreto ensaiados.

A utilização do pó de serra para a produção de blocos de concreto, possibilitou a elaboração de um composto leve, com baixa densidade e baixa condutividade térmica em comparação com o concreto de referência.

Através dos resultados da adição do pó de serra como agregado miúdo em até 50% em substituição ao agregado miúdo mineral na produção de blocos de concreto, traço 3 (proposto) da Tabela 4.21, pode-se constatar que a resistência à compressão e absorção de água são satisfatório. Com relação à normas da NBR 7173 (ABNT, 1982), que especifica os limites da resistência à

compressão e absorção de água para blocos de concreto sem função estrutural (resistência igual ou superior a 2,0 MPa individual e 2,5 MPa média, absorção de água igual ou inferior a 10% média e 15% individual), está de acordo com o recomendado.

Os resultados do traço 1 (argamassa de cimento e pó de serra), com relação às normas da NBR 7173 (ABNT, 1982), não foram satisfatórios. Os valores médios e individuais da resistência à compressão e absorção de água estão abaixo da referida norma.

Portanto, a aplicação do concreto com pó de serra no Traço 3 (proposto) para a produção de blocos de concreto para alvenaria de vedação, possibilitariam um efeito capaz de otimizar as variações térmicas ambientais da edificação e atendem as prescrições da NBR7173 (ANBT, 1982) quanto a resistência à compressão e absorção de água.

### **Análise da produção dos blocos de concreto**

#### **Relação água/cimento**

Procurou-se adequar a relação água/cimento, à trabalhabilidade do concreto. A relação água / cimento utilizada em cada traço e para cada mistura, foi definida por tentativas, de forma a se obter uma trabalhabilidade adequada do concreto na vibro-prensa. Observou-se que os valores da relação água/cimento utilizados nos traços estudados aumentam à medida que acrescentamos o pó de serra e retiramos parte do agregado miúdo A (Figura 4.15).

Tal fato decorre da grande capacidade de absorção de água do pó de serra. Através do ensaio de inchamento e expansão do pó de serra (Tabela 8.A do Anexo A), observou-se que a expansão média do pó de serra é de 26,6%, a partir desse valor volume diminuiu a medida que a água era adicionada.

Os poros das partículas de madeira absorvem a água após cada incremento, até atingir o ponto de saturação, em torno de 26,6%. Após um novo incremento a água excedente passa a ocupar os vazios existentes entre as partículas do pó de serra.

### **Considerações sobre as misturas para a produção dos blocos de concreto no estado fresco**

Durante o processo de moldagens dos blocos de concreto observou-se uma certa dificuldade de adensamento à medida que aumentava-se o adição do pó de serra. O tempo de vibração e vibro-compressão para o adensamento do concreto dentro do molde na vibro-prensa teve que ser alterado.

O tempo de pré-vibração e vibro-compressão foram respectivamente 6,00s e 5,00s para a mistura B e mistura C e de 8,00s e 3,00s para a mistura A (argamassa de cimento e pó de serra).

### **Resistência à compressão e massa $m_3$ dos blocos de concreto - mistura C**

A Figura 4.14, apresenta os resultados da massa  $m_3$  no estado endurecido dos blocos de concreto para a mistura C. Identifica-se comportamentos distintos para as diferentes composições analisadas. Inicialmente para porcentagens baixas do pó de serra em substituição parcial ao agregado miúdo A os blocos apresentam valores de massa  $m_3$  altas. Com o aumento da porcentagem do pó de serra, os valores de massa  $m_3$  diminuem, pois a massa unitária do pó de serra é menor que a do agregado miúdo A.

Os resultados da resistência à compressão, dos blocos analisados para a mistura C (Figura 4.14), apresentam comportamento similar aos resultados da massa  $m_3$ . Os máximos valores obtidos foram nas composições com menor adição do pó de serra.

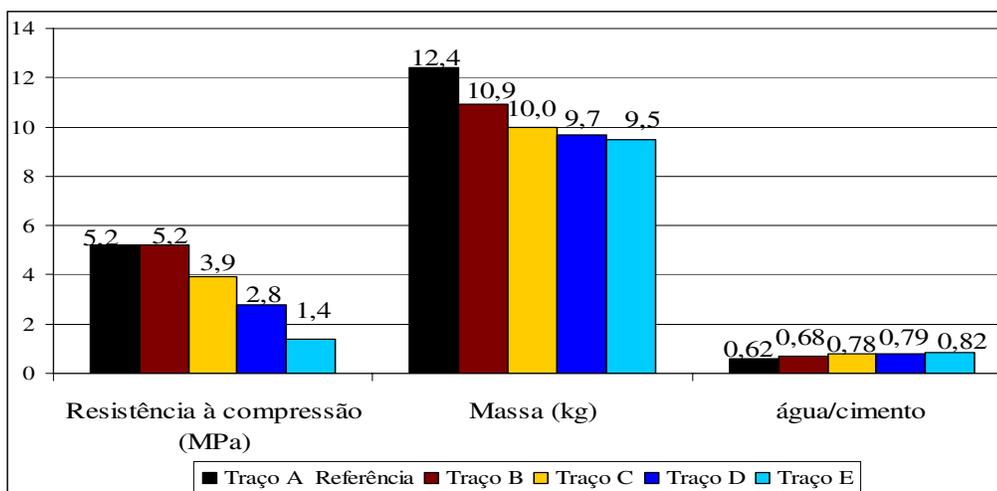


Figura 4.15 - Análise comparativa – Resistência média à compressão, massa  $m_3$  e relação água/cimento dos blocos de concreto – Mistura C

Para os resultados de absorção de água (Figura 4.16), observa-se comportamento inverso aos da massa unitária e resistência à compressão. A absorção de água esta relacionada com o índice de vazios (compacidade) e a alta capacidade do pó de serra de absorver água, mostrando que com o aumento da adição do pó de serra tivemos um aumento significativo da absorção de água em relação ao bloco de referência.

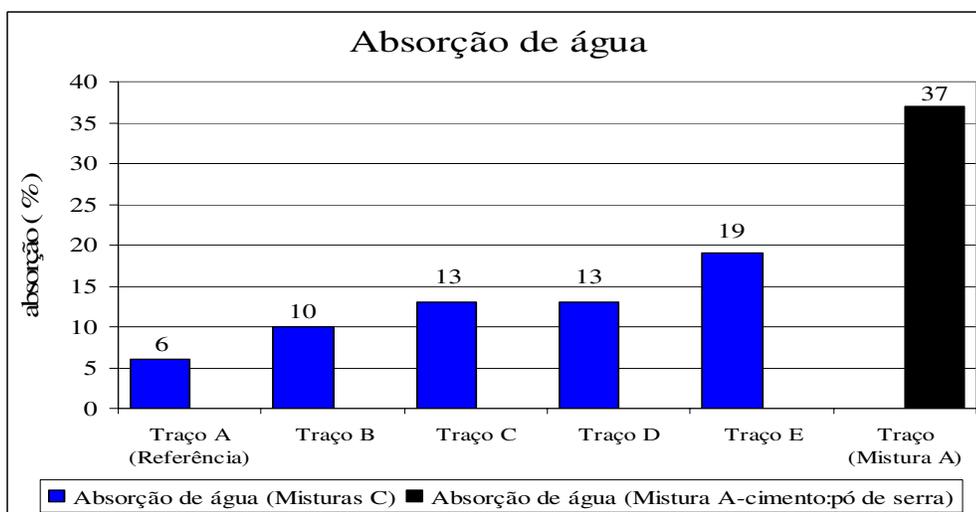


Figura 4.16 - Análise comparativa – Absorção de água para os traços da mistura C e o traço da mistura A (argamassa de cimento: pó de serra).

Durante o processo de secagem dos blocos de concreto, não se observou aparecimento de fissuras devido à retração, uma vez que as partículas do pó de serra beneficiaram a argamassa aumentando sua capacidade de absorver tensões durante este processo, comportamento característico de argamassas com baixo módulo de elasticidade.

Os blocos de concreto no traço E e traço da mistura A ficam limitados a ambientes secos, podendo, se necessário, submetê-los a um tratamento superficial adequado, com a finalidade de conferir-lhes um certo grau de impermeabilidade.

## **Elementos de enchimento de pré-lajes**

As pré-lajes (Figura 4.17) são placas com espessura de 3,0cm a 5,0cm e larguras padronizadas, constituídas de concreto estrutural denominadas pelas sigla PLT (pré-laje treliçada) e PLP (pré-laje protendida) segundo norma da NBR 14860-1 (ABNT).

Os elementos de enchimento são componentes pré fabricados, intercalados entre as nervuras das lajes (Figura 4.17), com a função de reduzir o volume de concreto e o peso próprio da laje, sem função estrutural.

O traço da mistura A (argamassa de cimento: pó de serra) atende as especificações da NBR 14860-1 (ABNT) como elementos de enchimento das pré-lajes, ou seja, os blocos são vazados, de material com baixa massa unitária, suficientemente rígidos, não produz danos ao concreto e sua resistência à ruptura é suficiente para resistir à carga de trabalho durante a montagem da laje.

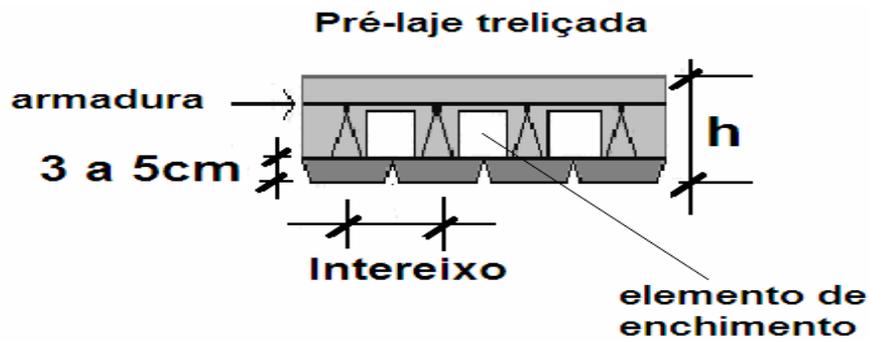


Figura 4.17 – Laje nervurada com pré-laje treliçada e elementos de enchimento.

A Figura 4.18 mostra uma análise comparativa entre o traço da mistura A proposto (argamassa de cimento: pó de serra) e os materiais normalmente usados para enchimento de lajes pré moldadas (lajota cerâmica e poliestireno extrudado).

Os valores da condutividade térmica e massa aparente do poliestireno extrudado (isopor) e das lajotas cerâmicas constam da ABNT (2003).

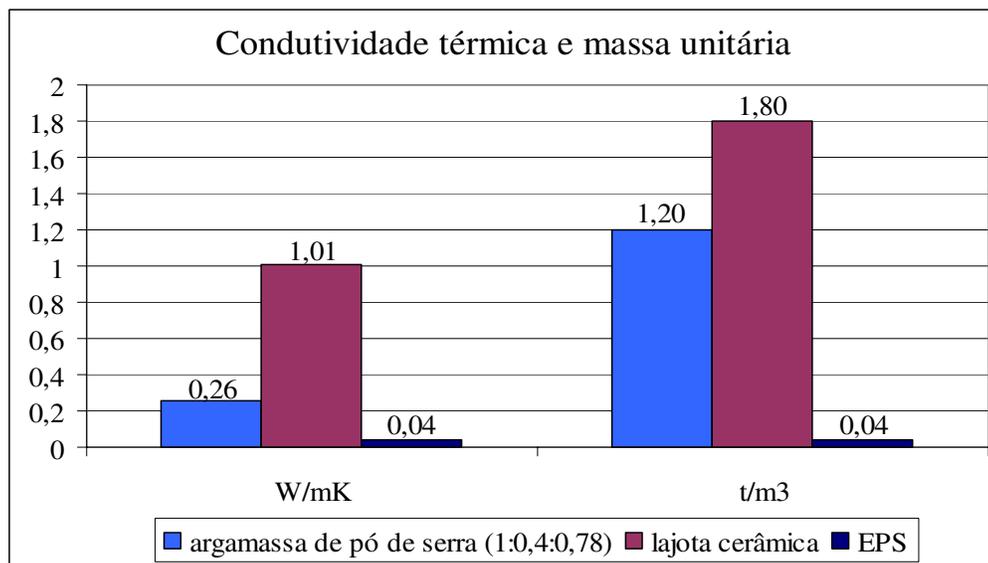


Figura 4.18 - Análise comparativa – condutividade térmica e massa unitária entre argamassa de pó de serra, lajota cerâmica e poliestireno extrudado (isopor).

## 5 CONCLUSÕES

A utilização do pó de serra da indústria madeireira ou de madeira de reflorestamento, na construção civil, visa contribuir para a diminuição do impacto ambiental causado pelo elevado consumo de agregados naturais.

A produção de blocos de concreto já é uma contribuição com meio ambiente, evitando a degradação dos maciços argilosos e o consumo de reservas florestais para produzir calor na queima dos fornos das indústrias cerâmicas.

Os resultados apresentados indicam que a relação água/cimento, necessária para obter uma dada trabalhabilidade na moldagem dos blocos de concreto, sofre grande influência da adição do pó de serra em substituição ao agregado miúdo mineral, bem como das características dos mesmos (dimensão, granulometria, e absorção de água).

Para as misturas analisadas, identificam-se comportamentos distintos para os diferentes traços analisados em relação a proporção de pó de serra na composição dos corpos-de-prova. Com o aumento da porcentagem do pó de serra nos traços estudados, os valores da resistência e da massa  $m_3$  tendem a um valor menor com um aumento da resistência térmica.

O traço D da mistura C (1 : 0,25 : 2,06 : 3,3 0,79) recomendado para a produção dos blocos de concreto para vedação é, aproximadamente, duas vezes e meia mais isolante em comparação ao bloco de referência (Traço A da mistura C) com uma resistência à compressão média de 2,76 MPa e absorção de água média igual 12,57%. Portanto, os resultados apontam as potencialidades de utilização do pó de serra na produção de blocos de concreto.

Já o traço da mistura A (cimento, pó de serra e relação água/cimento na proporção de 1:0,4:0,78) é recomendado para produção de elementos de enchimento das pré-lajes, pois a resistência à compressão alcançada foi de 0,89 MPa com absorção de água igual a 37%, sendo 3,5 vezes mais isolante em comparação ao bloco de referência. Atende as prescrições da NBR 14860-1 (ABNT) como elementos de enchimento de pré-lajes sendo desconsiderada como colaborantes nos cálculos da resistência e rigidez das lajes.

A partir dos resultados obtidos no presente estudo, conclui-se que a utilização do pó de serra como agregado miúdo em substituição parcial ou total do agregado miúdo mineral, possibilita a redução significativa do agregado mineral (areia) na produção de blocos de concreto para vedação e/ou elementos de enchimento em lajes pré moldadas, comportando-se como um material mais leve e termo isolante, em função da baixa condutividade térmica do pó de serra.

A utilização do resíduo da madeira traz grandes benefícios ao meio ambiente, pois através do emprego do pó de serra, promove-se a substituição de outras matérias-primas não renováveis.

A madeira é um material que pode ser repostado pela própria natureza e, por ser biodegradável, seus resíduos podem ser aproveitados. Com a crise energética é de se esperar um maior interesse por esse material, cujo beneficiamento requer pouco consumo de energia.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação- Referências- Elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24 p.

\_\_\_\_\_ **NBR 6036**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural - Especificação. Rio de Janeiro, 1994

\_\_\_\_\_ **NBR 7211**: Agregados para concreto – Rio de Janeiro, 1987. 3p.

\_\_\_\_\_ **NBR 7173**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1982. 3 p.

\_\_\_\_\_ **NBR 7186**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria com função estrutural. – Método de ensaio. Rio de Janeiro - 1982.

\_\_\_\_\_ **NBR 7184**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1991. 2 p.

\_\_\_\_\_ **NBR 7186**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria com função estrutural . Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_ **NBR 7215**: Cimento Portland: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996 .

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**: Agregado: determinação da composição granulométrica, especificação. Rio de Janeiro, 1987. 5 p.

\_\_\_\_\_ **NBR 7221**: Qualidade do agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1987.4 p.

\_\_\_\_\_ **NBR 7222**: Argamassa e concreto - determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. 3 p.

\_\_\_\_\_ **NBR 7223**: Concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1992. 5 p.

\_\_\_\_\_ **NBR 7251**: Agregados em estado solto: determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_ **NBR 7810** : Agregado em estado compactado seco: determinação da massa unitária, especificação. Rio de Janeiro, 1983. 3 p.

\_\_\_\_\_ **NBR 9776**: Agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapmann. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_ **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1990.

\_\_\_\_\_ **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1990.

\_\_\_\_\_ **NBR 9833**: Concreto fresco: determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_ **NBR 10.004**: Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_ **NBR 14.860-1**: Laje pré-fabricada – Pré-laje – Requisitos. Parte 1 : Lajes unidirecionais. Rio de Janeiro, 2002. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.860-2**: Laje pré-fabricada – Pré-laje – Requisitos. Parte 1 : Lajes bidirecionais. Rio de Janeiro, 2002. 3 p.

\_\_\_\_\_ **NBR 14.859-1**: Laje pré-fabricada – Requisitos. Parte 1 : Lajes unidirecionais. Rio de Janeiro, 2002. 15 p.

\_\_\_\_\_ **NBR 14.859-2**: Laje pré-fabricada – Requisitos. Parte 1 : Lajes bidirecionais. Rio de Janeiro, 2002. 2 p.

\_\_\_\_\_ **MB - 3458**: Blocos vazados de concreto para alvenaria – Retração por secagem. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

\_\_\_\_\_ **MB - 3459**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida. Rio de Janeiro, 1991. 2 p.

\_\_\_\_\_ PROJETO 02:135.07-005. **Desempenho térmico de edificações**: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico, Proposta para norma de desempenho térmico em edificações submetidas ao Comitê Brasileiro de Construção Civil ( CB-02 ) e à Comissão de Estudo de Desempenho Térmico para Edificações (CE- 02:135.07), 2003.

\_\_\_\_\_ PROJETO 02:135.07-002. **Desempenho térmico de edificações**: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações, Proposta para norma de desempenho térmico em edificações submetidas ao Comitê Brasileiro de Construção Civil (CB-02) e à Comissão de Estudo de Desempenho Térmico para Edificações (CE-02:135.07), 2003.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Use of fly in concrete. ACI 226 3R-87. In: **ACI Manual of concrete practice 1990**, part 1, Materials and general properties of concrete. Detroit, 1990. ACI COMMITTEE 226.

AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais.** São Paulo, 1991. 204p. Tese (Livre Docência)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ARAÚJO, V.D. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares.** Natal: EDUFRN, 2001.

ALMEIDA, L.C. **Notas de aula da disciplina AU414 – Estrutura IV – Concreto armado,** 2002 . Departamento de Estruturas da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ASTM C518-85 - **Steady state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the heat flow meter apparatus,** 1985

AFNOR NFX10-025 – **Détermination de la résistance thermique et de la conductivité thermique en régime stationnaire,** Méthode fluximétrique, 1991.

BERTOLI, S.M.; BRITO, L.A.F. **Determinação dos coeficientes de absorção acústica de placas confeccionadas com materiais reciclados.** ENCAC, 2003-Curitiba/PR - Brasil

BALL, D. **Selecting aggregates formaximum packing density in low permeability concretes.** Concrete, p.9-14, May 1998

BERALDO ([www.agr.unicamp.br/biokreto/index.html](http://www.agr.unicamp.br/biokreto/index.html))- Fabricação de blocos de concreto com casca de arroz denominado biokreto.

BERALDO, A. L. **Généralisation et optimisation de la fabrication d'un composite biomasse végétale-ciment à variations dimensionnelles limitées vis-à-vis des variations de l' humidité.** 1994. 223f. Thèse (Docteur en Sciences du Bois ) - Université de Nancy I, Nancy.

BERALDO, A. L. ; ARZOLLA, J. A. R. **Utilização de resíduos vegetais na produção de componentes para construção civil**, 5º Congresso Brasileiro de Cimento (CBC), Associação Brasileira de Cimento Portland, ABCP, v 1, p. 150-170, São Paulo, 1999.

CAMARINI,G. et al. **Influence of cement type and curing conditions on initial absorption of concrete**, High-Performance Concrete, Proceedings Second CANMET/ACI International Conference, Gramado/RS, Brazil, 1999.

CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO. **Utilização de fibras vegetais no fibro-cimento e no concreto fibra**, Departamento de estudos e pesquisas, BNH-DEPEA, Rio de Janeiro, 1982.

CINCOTTO,M.A. **Utilização de subprodutos e resíduos na industria da construção civil**. Construção. São Paulo, PINI n. 1855, pg 27-30, ago., 1988

COUTTS, R.S.P. Wood fiber inorganic composites. The Australian scene 1970's- 1990's: In **Inorganic bonded wood and fiber composite materials conference**, v 3, p. 26 – 27. 1992.

FERREIRA JUNIOR, S. **Produção de blocos de concreto para alvenaria**. Prática recomendada. São Paulo, ABCP 1995 (BT – 107)

FRASSON JUNIOR, A. **Metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Florianópolis, 2000. 146p. Dissertação ( Mestrado em Engenharia Civil ) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GRAM, H. E.; NIMITYONGSKUL,P. **Durability of natural fibres in cement based roofing sheets**. Swedish Cement&Concrete Research Inst., Sweden – *Journal of Ferrocement*, v. 17, n. 4, pp. 321-327, 1987.

GRANDI, L. A. C. **O uso do pó de serra como material de construção em misturas secas e argamassa.** 1991. 92f. Tese (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GRANDI, L. A. C. **Placas pré-moldadas de argamassa de cimento e pó de serra.** 1995. 128f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ISO 8301 International Standart – **Determination de la résistance thermique et de la conductivité thermique en régime stationnaire, Methode fluximétrique,** 1991

GUIMARÃES, S.S. **Vegetable fibre-cement composites,** Proceedings of the second International Symposium on Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials by RILEM 7, Salvador, Bahia, pp 98-107, 1990.

GUIMARÃES, G.; PHILIPPI, P.C. Métodos transientes para a medição de propriedades termofísicas de materiais. In: **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído,** II.,1993.

GÜTHS, S. **Um método transiente para medição de propriedades térmicas.** 1990. 180 f. Tese (Mestrado) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

HELENE, P.R.L **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** 1993, São Paulo. Tese de livre docência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

HELENE, P.e TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** PINI. São Paulo, 1992, 349p.

INCROPERA, F.P.; DEWITT P. **Fundamentos de transferência de calor e massa.** 3 ed. LTC - Livros técnicos e científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1992

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil:** contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 102 p. São Paulo, 2000. Tese (Livre Docência ) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

JOHN, V. M. e AGOPYAN, V. Materiais reforçados com fibras vegetais. In: **Simpósio Internacional Sobre Materiais Reforçados com Fibras para Construção Civil**, 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. p.29-38.

Manual do Processo Construtivo POLI-ENCOL: **blocos e pré-moldados**. São Paulo, EPUSP/ENCOL, 1991. (Relatório técnico R5-26/91)

MEDEIROS, J. S. et al . **Blocos de concreto para alvenaria estrutural:**Avaliação de parâmetros básicos para produção. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Brasil. Proceedings – 5<sup>th</sup> International Seminar on Structural Mansory for Developing Contries – Florianópolis – Brazil – 1994.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P .J .M. **Concreto:** estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 1994. 573p.

MOSLEMY, A. A. **Particleboard**. 2nd ed. Illinois: Southern Illinois University Press, 1974. 516p.

NEVILLE,A.M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo, PINI, 1997. 828p.

OLIVEIRA, M. J. E. **A Influência dos tratamentos simples para as fibras de malva empregadas em reforço de argamassa de cimento Portland**. 1989. 187 f. Tese (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

RIVERO A., R. O. **Arquitetura e Clima:** acondicionamento térmico natural. 2 ed. Porto Alegre: D.C. Luzzato Editores,1986. 240p.

RILEM RECOMMENDATION. **Specification for concrete with recycled aggregates.** Materials and Structures n. 27, pg. 557-559, 1994

RILEM. **Testing methods for fibre reinforced cement-based composites.** Matériaux Constructions, v 17, n.102,p.441-56,1984. (Rilem Draft Recommendations, Techn Committee 49 TFR).

SAVASTANO JR., H. **Materiais a base de cimento reforçados com fibra vegetal:** Reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo 2000. 187 f. Tese (Livre Docência ) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SAVASTANO JR, H.; AGOPYAN, V. **Fibras naturais para produção de componentes construtivos,** FZEA-USP e EP-USP, 1999.

SAVASTANO JR., H.; LUZ, P.H.C.; NOLASCO, A.M. Seleção de resíduos de alguns tipos de fibra vegetal, para reforço de componentes de construção. In: **ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS**, 1., Canela, 1997. Anais. Porto Alégre, Antac, 1997.p.107-120.

STANCATO, A.C.; BURKE,A.K. e PAULON, V.A. **Estudo das propriedades do concreto com agregado miúdo composto de areia e resíduos vegetais.** 43 Congresso Brasileiro do Concreto. Fóz de Iguaçu, 2001.

STANCATO, A.C. **Determinação da condutividade térmica e da resistência mecânica em argamassa leve.** 2000. 155f. Tese Mestrado.Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

TANGO, C. E. S. **Fundamentos de dosagem de concreto para blocos estruturais.** IPT São Paulo. Proceedings – *5<sup>th</sup> Internaonal Seminar on Strutural Mansory for Developing Countries* – Florianópolis – Brazil - 1994

## ANEXOS

### ANEXO A

Tabela 1.A – Distribuição granulométrica do agregado miúdo A

Abertura peneiras (mm)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	0	0
4,8	1	1
2,4	5	6
1,2	10	16
0,6	22	38
0,3	38	76
0,15	21	97
Fundo	3	100
Dimensão máxima característica (mm)		4,8
Módulo de Finura		2,34
massa unitária seco solto		1,43kg/dm <sup>3</sup>
Umidade ( h % )		4 %
Massa específica real		2,61 kg/dm <sup>3</sup>

Tabela 2.A – Distribuição granulométrica do agregado B

Abertura peneiras (mm)	% Retida	% Retida acumulada
9,5	0	0
6,3	15	15
4,8	13	28
2,4	24	52
1,2	12	64
0,6	15	79
0,3	15	94
0,15	5	99
Fundo	1	100
Dimensão máxima característica (mm)		9,5
Módulo de Finura		4,20
Umidade ( h % )		6,54%
Massa específica real		2,61 kg/dm <sup>3</sup>
Massa unitária seco		1,63 kg/dm <sup>3</sup>

Tabela 3.A – Distribuição granulométrica do agregado graúdo C

Abertura peneiras (mm)	% Retida	% Retida acumulada
12,7	0	0
9,5	0	0
6,3	30	30
4,8	39	69
2,4	27	96
1,2	2	98
0,6	1	99
0,3	0	99
0,15	0	99
Fundo	1	100
Dimensão máxima característica (mm)		9,5
Módulo de Finura		5,60
massa unitária aparente		1,73 kg/dm <sup>3</sup>
Umidade ( h )		0
Massa específica real		2,65 kg/dm <sup>3</sup>

Tabela 4.A - Distribuição granulométrica do pó de serra (média de três ensaios)

Abertura peneiras (mm)	% Retida	%Retida acumulada
4,8	0	0
2,4	0	0
1,2	16	16
0,6	38	54
0,3	23	77
0,15	17	94
Fundo	6	100
Dimensão máxima característica (mm)		2,40
Módulo de Finura		2,41
Massa unitária no estado seco e solto		0,179
Massa específica real		1,223g/cm <sup>3</sup>
Umidade (%)		9,18%

Tabela 5.A Resultados da massa  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  e  $m_4$  dos blocos de concreto – Mistura B

		$m_1$ (seco) g	$m_2$ (saturado) g	$m_3$ (natural) g	$m_4$ (imerso) g
Traço A (Referência)	CP 1	11.100	11.965	11.250	6.435
	CP 2	11.080	12.000	11.200	6.450
	CP 3	11.150	12.068	11.250	6.475
	Média	11.110	12.011	11.233	6.453
Traço B	CP 1	7.900	9.721	8.100	4.282
	CP 2	7.870	9.650	8.000	4.230
	CP 3	7800	9.528	8.000	4.165
	Média	7.857	9.633	8.033	4.226
Traço C	CP 1	9.000	10.486	9.100	4.927
	CP 2	8.800	10.520	9.200	4.950
	CP 3	8.300	10.578	9.500	5.139
	Média	8.700	10.528	9.267	5.005

Tabela 6.A - Resultados da massa  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  e  $m_4$  dos blocos de concreto – Mistura C

		$m_1$ (seco) g	$m_2$ (saturado) g	$m_3$ (natural) g	$m_4$ (imerso) g
Traço A (referência)	CP 1	11.639	12.373	11.845	6.576
	CP 2	12.023	12.810	12.338	6.825
	CP 3	12.390	13.130	12.758	7.058
	Média	12.017	12.771	12.314	6.820
Traço B	CP 1	10.500	11.542	10.950	5.797
	CP 2	10.420	11.500	10.930	5.750
	CP 3	10.450	11.495	10.950	5.718
	Média	10.457	11.512	10.943	5.755
Traço C	CP 1	9.850	11.111	10.200	5.350
	CP 2	9.650	10.850	10.050	5.290
	CP 3	9.500	10.671	9.850	5.246
	Média	9.667	10.877	10.033	5.295
Traço D	CP 1	9.300	10.508	9.700	4.985
	CP 2	9.400	10.550	9.730	5.050
	CP 3	9.450	10.631	9.800	5.131
	Média	9.383	10.563	9.743	5.055
Traço E	CP 1	9.300	10.662	9.950	4.928
	CP 2	8.200	10.230	9.050	4.450
	CP 3	7.700	9.088	8.000	3.915
	Média	8.400	9.993	9.000	4.431

Tabela 7.A – Resultados obtidos nos ensaios para a determinação da área líquida dos blocos Mistura C - NBR 7173 (ABNT, 1982)

Traços Ensaio série B		Área Líquida cm <sup>2</sup>
Traço A	CP 1	305
	CP 2	315
	CP 3	320
	Média	313
Traço B	CP 1	302
	CP 2	303
	CP 3	304
	Média	303
Traço C	CP 1	303
	CP 2	293
	CP 3	286
	Média	294
Traço D	CP 1	291
	CP 2	290
	CP 3	290
	Média	290
Traço E	CP 1	302
	CP 2	304
	CP 3	272
	Média	293

Tabela 8.A – Ensaio de inchamento do pó de serra

Número de ordem	Massa (g)	Incremento de água (g)	$\gamma_a$ (kg/dm <sup>3</sup> )	Sobra de material (g)	u (%)	Inchamento (%)
Seco	537,00	0	0,179	0	0	0
01	586,30	49,3	0,195	0	9,18	0
02	614,33	100	0,205	54,0	14,40	8,80
03	644,94	200	0,215	91,5	20,10	14,20
04	663,20	300	0,221	141,6	23,50	21,35
05	708,84	400	0,236	171,5	32,00	24,20
06	744,28	500	0,248	194,4	38,6	26,11
07	797,45	600	0,266	212,0	48,5	26,58
08	852,22	700	0,284	225,5	58,7	26,46
09	903,77	800	0,301	236,7	68,3	26,20
10	960,69	900	0,320	249,5	78,9	25,97

A tabela 9.A apresenta a condutividade térmica ( $\lambda$ ) e o calor específico ( $c$ ) para diversos materiais de construção em função de sua densidade de massa aparente ( $\rho$ ) segundo a ABNT (2003).

Tabela 9.A - Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) de materiais

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	$c$ (kJ/(kg.K))
<b>Argamassas</b>			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
<b>Cerâmica</b>			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
<b>Concreto (com agregados de pedra)</b>			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00
<b>Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (<math>\rho</math> dos inertes <math>\sim</math>750 kg/m<sup>3</sup>)</b>			
com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
sem finos	1000-1200	0,35	1,00
<b>Concreto com argila expandida</b>			
dosagem de cimento > 300 kg/m <sup>3</sup> , $\rho$ dos inertes > 350 kg/m <sup>3</sup>	1600-1800	1,05	1,00
	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00
	1000-1200	0,46	1,00
dosagem de cimento < 250 kg/m <sup>3</sup> , $\rho$ dos inertes < 350 kg/m <sup>3</sup>	800-1000	0,33	1,00
	600-800	0,25	1,00
	< 600	0,20	1,00

Material (continuação)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
<b>Concreto com argila expandida (Continuação)</b>			
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida fabricado em obra	600-800	0,31	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:3	400-600	0,24	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:6	700-800	0,29	1,00
	600-700	0,24	1,00
	500-600	0,20	1,00
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00
<b>Gesso</b>			
Projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)			
dosagem gesso: agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84
dosagem gesso: agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84
<b>Granulados</b>			
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,30	2,09
Areia (10% de umidade)	1500	0,93	
Areia (20% de umidade)	1500	1,33	
<b>Granulados (Continuação)</b>			
Areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84
<b>Impermeabilizantes</b>			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
<b>Isolantes térmicos</b>			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno expandido	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano extrudado	30-40	0,030	1,67

Material (continuação)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
<b>Madeiras e derivados</b>			
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
<b>Metais</b>			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38
<b>Pedras (incluindo junta de assentamento)</b>			
granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcários/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84
<b>Plásticos</b>			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrilicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	

Fonte: ABNT (2003)

## ANEXO B



Figura 1.B – Bloco de concreto com pó de serra (Traço em massa 1:0,4)



Figura 2.B – Bloco de concreto com adição de pó de serra