



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



# **PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CAMPINA GRANDE  
PARAÍBA**

Biblioteca UFCEG  
SMBC\_CDSA  
CAMPUS DE SUMÉ  
Reg. 12551/13



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



## **DISSERTAÇÃO**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA

**DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA  
CONSTRUÇÃO DE SILOS CIRCULARES DE ALVENARIA SEM  
FUNÇÃO ESTRUTURAL**

**KUELSON RÂNDELLO DANTAS MACIEL**

**Campina Grande - Paraíba  
AGOSTO - 2002**



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

DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA  
CONSTRUÇÃO DE SILOS CIRCULARES DE ALVENARIA SEM FUNÇÃO  
ESTRUTURAL

KUELSON RÂNDELLO DANTAS MACIEL

Campina Grande - PB  
Agosto - 2002



# Kuelson Rândello Dantas Maciel

## DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA CONSTRUÇÃO DE SILOS CIRCULARES DE ALVENARIA SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL



Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre.

**Área de Concentração:** Construções Rurais e Ambiente

**Orientador:** Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento

Campina Grande - PB  
Agosto - 2002



Maciel, Kuelson Rândello Dantas

M152d  
2002

Desenvolvimento de blocos de concreto para  
construção de silos circulares de alvenaria sem função  
estrutural / Kuelson Rândello Dantas Maciel. – Campina  
Grande: UFCG, 2002.

80p. : il

Dissertação (Mestrado). UFCG / CCT  
Inclui bibliografia

1. Blocos de Concreto 2. Silos 3. Alvenaria 4. Traço

CDU: 631.24




PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

KUELSON RÂNDELLO DANTAS MACIEL

Título: "Desenvolvimento de Blocos de Concreto para Construção de Silos  
Circulares de Alvenaria sem Função Estrutural".

BANCA EXAMINADORA

PARECER

  
Dr. José Wallace B. do Nascimento-Orientador

APROVADO

  
Dr. Mário Monteiro Rolim-Examinador

APROVADO

  
Dr. Normando Perazzo Barbosa-Examinador

APROVADO

AGOSTO- 2002



Dedicatória:



A meus pais:

**José Ito Maciel e Neluse Dantas Maciel**



## AGRADECIMENTOS

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

Ao professor José Wallace B. Nascimento, pela orientação, ensinamentos transmitidos e pela confiança, que foram fundamentais à realização desta dissertação.

Aos professores do mestrado da área de Construções Rurais, pelas informações transmitidas . Em especial ao professor Antônio Leal, pela dúvidas tiradas.

Ao professor Ailton da área de Geotecnia, pelo apoio na obtenção dos experimentos.

Aos amigos (as) do curso de pós-graduação, pelo apoio e principalmente pela amizade construída, em especial a Audenice, Elisângela, Marcilene e Simone.

Ao funcionário e laboratoristas da área de Construções Rurais e Geotecnia, pela amizade construída, em especial a Paulo César, pela sua dedicação e amizade.

A CNPQ, pelo apoio financeiro fornecido para a realização desta dissertação.

Enfim, aos meus familiares, que mesmo a distancia, sempre transmitiram força e confiança. Aos meus pais José Ito e Neluse, pelo seu apoio, aos meus irmãos Demostenes e Georgeano pelo apoio e pela confiança depositada em seu irmão. A minha namorada Magna, pelo apoio e principalmente pelas orações. Aos meus Avóis que já não estão aqui mais estão sempre presente Pedro Vieira e Maria Olivia.

## *Sumário*

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE SIMBOLOS	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	
1.1 Considerações Iniciais	01
1.2 Objetivo e Justificativa da Dissertação	02
1.3 Estrutura do Trabalho	04
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	
2.1 Blocos de concreto para alvenaria sem função estrutural	06
2.1.1 Conceituação	06
2.1.2 Classificação	08
2.1.3 Tipo de blocos	09
2.1.4 Propriedades dos blocos de concreto	09
2.1.4.1 Resistência à compressão	10
2.1.4.2 Resistência à tração	11
2.1.4.3 Capacidade de absorção	13
2.1.4.4 Outras propriedades	13
2.2 Produção de blocos de concreto para alvenaria sem função estrutural	14
2.2.1 Surgimento e evolução	14
2.2.2 Produção de blocos de concreto no brasil	17
2.2.3 Insumos básicos empregados na produção de blocos de concreto	20
2.2.3.1 Agregados	20
2.2.3.2 Cimento portland	22
2.2.3.3 Água	23
2.2.3.4 Argamassa de assentamento	23
2.3 Silos cilíndricos de baixa relação altura / diâmetro	24

2.3.1	Propriedades de fluxo do produto armazenado	25
2.3.1.1	Peso específico	26
2.3.1.2	Ângulo de atrito interno	27
2.3.1.3	Efetivo ângulo de atrito interno	27
2.3.1.4	Ângulo e coeficiente de atrito do produto com a parede	29
2.3.2	Pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro	30
2.3.2.1	Teoria de Janssen	31
2.3.2.2	Teoria de Rankine	35
2.3.2.3	Norma ISO	37
2.3.2.4	Efeito da força de tração na parede do silo	38
<b>3.</b>	<b>MATERIAL E METODOS</b>	
3.1	Caracterização dos materiais utilizados na produção e assentamento dos blocos de concreto	39
3.1.1	Agregado miúdo (areia)	39
3.1.2	Cimento Portland	40
3.1.3	Água	41
3.1.4	Argamassa de assentamento	41
3.2	Forma geométrica do bloco de concreto	41
3.3	Proporcionalidade dos materiais	43
3.3.1	Dosagem	43
3.3.2	Preparo da mistura	44
3.4	Moldagem e desmoldagem dos blocos de concreto	45
3.5	Cura dos blocos de concreto	47
3.5.1	Cura ao ar livre na sombra	47
3.5.2	Cura submersa	47
3.6	Ensaio do teor de umidade e absorção	48
3.7	Ensaio de compressão	50
3.8	Ensaio do cisalhamento	52
3.9	Delineamento experimental e análise estatística	54
3.9.1	Ensaio de compressão	55
3.9.2	Ensaio do cisalhamento	55
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	
4.1	Caracterização dos materiais	57



4.1.1 Agregado miúdo (areia)	57
4.2 Caracterização do concreto	59
4.2.1 Trabalhabilidade e consistência	60
4.2.2 Resistência à Compressão	61
4.2.2.1 - Blocos de concreto confeccionado com traço 1:3, 1:4 e 1:6	62
com dois tipos de cura (submersa e ao ar livre na sombra) e com três idades de rompimento.	
4.2.3 Resistência à tração	64
4.2.3.1 - Blocos de concreto confeccionado com traço 1:3, 1:4 e 1:6	64
com dois tipos de cura (submersa e ao ar livre na sombra).	
4.2.4 - Absorção e teor de umidade por imersão	67
4.3 - Análise dos traços sugeridos para a moldagem de blocos de acordo com as normas	69
<b>5. CONCLUSÃO</b>	74
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	76
ANEXO A - Tabelas da análise estatística (Teste F e teste de Tukey) - Resistência à compressão	
ANEXO B - Tabelas da análise estatística (Teste F e teste de Tukey) - Resistência ao cisalhamento	
ANEXO C - Cálculo das pressões em um silo de blocos de concreto para o armazenamento de milho, utilizando a Norma ISO 11697 (1995)	



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 Nomenclatura de partes e dimensões de um bloco de concreto (NCMA, 1988).	09
FIGURA 2.2 Execução de um silo circular de placas de concreto com reforço estrutural.	16
FIGURA 2.3 Blocos de concreto para silos circular de alvenaria sem reforço estrutural.	17
FIGURA 2.4 Representação do lugar geométrico de deslizamento (Yield Locus).	28
FIGURA 2.5 Representação gráfica do ângulo de atrito interno e efetivo ângulo de atrito interno.	29
FIGURA 2.6 Forças agindo sobre uma camada infinitesimal.	32
FIGURA 2.7 Pressões exercidas pelo produto em silos de fundo plano, de acordo com a teoria de Rankine.	36
FIGURA 2.8 Distribuição da pressão horizontal no silo e o efeito da força de tração	38
FIGURA 3.1 Vista inferior e frontal da geometria do bloco	42
FIGURA 3.2 Dimensões do bloco de concreto	43
FIGURA 3.3 Mistura dos materiais	44
FIGURA 3.4 Adicionando água na mistura	44
FIGURA 3.5 Base para desmoldagem dos blocos de concreto	45
FIGURA 3.6 Seqüência da desmoldagem dos blocos de concreto	46
FIGURA 3.7 Proteção nas primeiras idades dos blocos de concreto	48
FIGURA 3.8 Tanques de cura	48
FIGURA 3.9 Detalhamento do bloco sendo rompido	51
FIGURA 3.10 Moldagem das paredes	52
FIGURA 3.11 Equipamento utilizados na coleta de dados	53
FIGURA 3.12 Perfil do ensaio de tração	54
FIGURA 4.1 Curva da granulométrica da areia utilizada na produção de blocos	58
FIGURA 4.2 Curva da granulométrica da areia utilizada na argamassa de assentamento	59
FIGURA 4.3 Resistência média à compressão do bloco de concreto com traço 1:3 com cura submersa e ao ar livre na sombra	62
FIGURA 4.4 Resistência média à compressão do bloco de concreto com traço 1:4 com cura submersa e ao ar livre na sombra	63
FIGURA 4.5 Resistência média à compressão do bloco de concreto com traço 1:6 com cura submersa e ao ar livre na sombra	64
FIGURA 4.6 Resistência ao cisalhamento do bloco de concreto com traço 1:3 com cura submersa e ao ar livre na sombra	66



FIGURA 4.7 Resistência ao cisalhamento do bloco de concreto com traço 1:4 com cura submersa e ao ar livre na sombra	67
FIGURA 4.8 Resistência ao cisalhamento do bloco de concreto com traço 1:6 com cura submersa e ao ar livre na sombra	67
FIGURA 4.9 Relação entre a absorção de água de blocos de concreto em função do traço e da cura	68
FIGURA 4.10 Relação entre o teor de umidade versus traços para os dois tipos de cura utilizados	68
FIGURA 4.11 Distribuição da pressão de atrito do produto com a parede do silo	70
FIGURA 4.12 Distribuição da pressão horizontal de descarregamento no silo	71
FIGURA 4.13 Rompimento das paredes com traços 1:3, 1:4 e 1:6 no ensaio de cisalhamento	73



## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 Comparação entre os ensaios normalizados de blocos de concreto e concreto convencional de acordo com a norma americana (HOLM, 1976)	12
TABELA 2.2 Classificação geométrica dos silos segundo as normas internacionais	24
TABELA 2.3 Fatores que afetam a predição das pressões nas paredes de um silo	25
TABELA 2.4 Seção transversal e seus respectivos raios hidráulicos (DIN 1055)	34
TABELA 2.5 Classe dos materiais	38
TABELA 2.6 Classificação dos produtos	38
TABELA 3.1 Composição química do cimento portland	41
TABELA 3.2 Características físicas do cimento portland	41
TABELA 3.3 Transformação do traço em volume para peso	45
TABELA 4.1 Propriedades físicas da areia utilizada na produção de bloco	57
TABELA 4.2 Propriedades físicas da areia utilizada na argamassa de assentamento	57
TABELA 4.3 Composição granulométrica da areia utilizada na produção de blocos	58
TABELA 4.4 Composição granulométrica da areia utilizada na argamassa de assentamento	58
TABELA 4.5 Resistência média de blocos de concreto com traço de 1:3, 1:4 e 1:6 com cura submersa	59
TABELA 4.6 Resistência média de blocos de concreto com traço de 1:3, 1:4 e 1:6 com cura natural	60
TABELA 4.7 Resistência média de blocos de concreto com traço de 1:3, 1:4 e 1:6 com cura submersa e natural	60
TABELA 4.8 Valores admissíveis para resistência à compressão e absorção para blocos	71
TABELA 4.9 Traços sugeridos para fabricação dos blocos	71
TABELA 4.10 Valores de absorção e teor de umidade	74



## LISTA DE SIMBOLOS

$f_c$	Tensão de confinamento
$f_{c7}$	Resistência à compressão simples aos 7 dias
$f_{c21}$	Resistência à compressão simples aos 21 dias
$f_{c28}$	Resistência à compressão simples aos 28 dias
D	Diâmetro do silo
H/D	Relação altura com o diâmetro
K	Relação entre a pressão horizontal e vertical
$\gamma$	Peso específico
$\phi$	Ângulo de atrito
$\phi_w$	Ângulo de atrito do produto com a parede
$\mu$	Coefficiente de atrito do produto com a parede
$\sigma_1$	Tensão máxima de consolidação
$P_h$	Pressão horizontal
$P_v$	Pressão vertical
$P_w$	Pressão com a parede
TU	Teor de umidade
Z	Profundidade
YL	Lugar geométrico de deslizamento

**LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS**

A <sub>b</sub>	Absorção de água
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
DIN	Deutsche Norm



## Resumo

Atualmente estima-se que 25% da produção de grãos produzidos no Brasil, são perdidos nas fases de colheita e pós-colheita, parte desta perda referente ao armazenamento, pode ser minimizada, caso o país estimule a estocagem da produção nas próprias fazendas. Para isso é necessário ter disponível tecnologia simples, entre as quais, a de construção de silos para que se possa construir nos locais de produção.

Com intuito de colaborar para uma política de armazenagem de grãos em fazendas, o presente trabalho tem o objetivo de estudar blocos de concreto para serem utilizados na construção de silos cilíndricos de alvenaria. Logo foi desenvolvido um bloco com geometria especial para se utilizar em silos cilíndricos, e analisando-se a absorção de água, as resistências à compressão e tração dos blocos confeccionados com traço de 1:3, 1:4 e 1:6 submetendo-os a dois tipos de cura: natural e submersa.

Dentre os traços estudados para confecção de blocos de concreto o único que não atingiu resistência à compressão exigida pela NBR 7173 foi o traço 1:6, mas a resistência dos blocos em todos os traços foram superior aos esforços atuante no silo com dimensões estudadas. Enquanto que para resistência à tração não há norma específica, com isso foi desenvolvida uma metodologia para simular o esforço de tração que as paredes dos silos cilíndricos estão submetidos e o blocos que foram moldados com traço 1:3 e 1:4 obtiveram resistência superior a necessária para um silo de 4m de altura e relação altura /diâmetro igual a 1.

**Palavras chaves:** armazenamento, silo e bloco de concreto

## ABSTRACT

Nowaday it's estimated that 25% of the grains produced in Brazil are lost in the crop and post-crop phases, some of this refer to storage, but it can be minimized if the country stimulate stocking up the production in the farms. So it's necessary to have a simple technology available, as the construction of bin in the production places.

In order to help a crop storage politic in the farms, in the present work we studied concrete blocks that can be used to build masonry cylindrical bin. We developed a block with a special geometry to use in these bin, the water absorption, compression and traction resistances of the blocks were analyzed they were made with 1:3, 1:4 and 1:6 mixture and then submitted to two types of cure: natural and submerged.

Among the mixture studied to build the blocks the 1:6 mixture didn't reach the required resistance by the NBR 7173, but the resistance of the block with all mixture was superior to the efforts in a bin with the same dimensions.

There isn't an specific norm for traction resistance, so we developed a methodology to simulate the traction efforts that the cylindrical bin walls were submitted, the blocks were moulded with 1:3 and 1:4 mixture, we get a superior resistance to the one required to an bin with 4 metros in height and height/diameter relation equal to one.

**Key words:** storage, bin and concrete block

## 1. Introdução

### 1.1 Considerações Iniciais



A busca por soluções que impliquem no aumento racional da produtividade e na eliminação de desperdícios é condição fundamental para o desenvolvimento tecnológico de qualquer País que pretende se modernizar. O setor de armazenagem de grãos em fazendas constitui uma prática tanto para complementar a estrutura armazenadora quanto para minimizar as perdas em quantidade e qualidade a que estão sujeitos os produtos colhidos. Sabe-se que no Brasil essas perdas chegam a 25 % ou mais devido à falta destas unidades armazenadoras (silos).

Em geral, os silos utilizados para a armazenagem de grãos em fazendas apresentam baixa relação entre a altura do silo e seu diâmetro ou lado (0,75 a 1,5) e fundo plano. De acordo com CALIL (1987), isto se justifica pelo grande aumento da capacidade do silo com aumento do seu diâmetro e também porque a manipulação de silos baixos é mais fácil e de menor custo.

Os silos podem ser projetados de diversos materiais como madeira, argamassa armada, concreto, aço e acrílico, mas a predominância é a utilização de silos metálicos em chapas galvanizadas corrugadas. Segundo Haynal (1989) o custo de silos de concreto armado só é economicamente viável a partir de uma capacidade de cinco mil toneladas, mais vale salientar que ao trabalhar com blocos de concreto sem armadura o custo reduz consideravelmente, além de se adequar às condições Brasileiras.

De acordo com DINIZ (2001), uma unidade armazenadora, tecnicamente projetada e convenientemente localizada, constitui uma das alternativas para aumentar os retornos econômicos dos sistemas produtivos de grãos. Além de propiciar a comercialização

da produção em melhores períodos, evitando as pressões naturais do mercado na época de colheita, a retenção de produtos na propriedade. Quando tudo isto é bem conduzido apresenta vantagens como:

⇒ Minimização das perdas quantitativas e qualitativas que ocorrem no campo;

⇒ Economia de transporte, uma vez que os preços dos fretes aumentam durante o período da safra;

⇒ Custo do transporte reduzido pela diminuição de impurezas e excesso de água pela secagem;

⇒ Possibilidade de obtenção de financiamento por meio das linhas de créditos próprias para a pré-comercialização;

⇒ Maior rendimento na colheita, por evitar a espera dos caminhões nas filas das unidades coletoras ou intermediárias.

Diante destas vantagens ainda existem diversos fatores que contribuem para o baixo índice de armazenagem de grãos nas fazendas. Estima-se que menos de 5% da produção agrícola do País é estocada em fazendas, enquanto que no Canadá, por exemplo chegar a atingir 80% da produção.

## 1.2 Objetivo e Justificativa da Dissertação

O objetivo principal da dissertação é contribuir para o desenvolvimento tecnológico dos processos construtivos de silos circulares verticais de alvenaria não armada de bloco de concreto. Os principais fatores que influenciaram nesta escolha estão relacionados a seguir.

⇒ Inexistem no Brasil, os pré-requisitos que induzem ao emprego de blocos de alvenaria estrutural não armada na construção de silos;

⇒ A utilização da alvenaria não armada é mais simples, racional e de menor custo que a alvenaria armada;

⇒ A posição de destaque que os blocos de concreto possuem atualmente no cenário da construção civil;

⇒ Disponibilidade de matérias-primas praticamente em todo território nacional;

⇒ Facilidade de domínio da tecnologia de fabricação e aquisição de equipamentos apropriados à produção de bloco de qualidade e no caso do bloco que estamos estudando a mão de obra é de fácil execução;

⇒ Possibilidade de difusão da tecnologia aos pequenos produtores e/ou associação de classe.

Para tanto, decidiu-se estudar alguns aspectos considerados fundamentais para o domínio desta tecnologia. Em primeiro lugar, julgou-se necessário discutir a importância do desenvolvimento deste bloco de concreto para o desempenho da alvenaria e a necessidade de conhecimento da tecnologia de produção de blocos, no qual considera que a consolidação dos conhecimentos básicos a este respeito é fator essencial para o aumento do armazenamento de grãos nas fazendas utilizando silos de alvenaria no processo construtivo que empregam blocos de concreto.

A pesquisa incorpora ainda um estudo sobre os principais fatores que exercem influência sobre a resistência do bloco de concreto, como o processo de moldagem e desmoldagem do bloco e o tipo de cura.

Para atingir o objetivo proposto de modo a permitir uma análise fundamentada dos fatores que interferem na resistência do bloco, foi desenvolvido um trabalho de natureza

experimental. Os experimentos foram realizados em laboratórios e em uma fábrica de Pré-moldados , na qual foram moldados os blocos e tiveram por objetivo principal a investigação dos seguintes aspectos:

⇒ Fazer uma análise e um bom acompanhamento na produção dos blocos de concreto para que não ocorra interferência na resistência à compressão e ao cisalhamento dos blocos;

⇒ Compara de forma lógica a diferença na obtenção da resistência a compressão e a tração dos blocos confeccionados com traços diferentes e com dois tipos de cura.

### 1.3 Estruturação do Trabalho

Para cumprir os objetivos elaborados, os capítulos da dissertação foram sistematicamente organizados e divididos da seguinte maneira:

No capítulo 2 , encontra-se a revisão bibliográfica, na qual subdivide em dois itens, nos itens 2.1 e 2.2 descreve-se a tecnologia empregada na produção de blocos de concreto, o surgimento e sua evolução, o crescimento da sua produção no Brasil, os principais componentes que constituem o bloco, e por fim, uma análise de suas propriedades para adquirir blocos de concreto em perfeitas condições para a construção de silos circulares de alvenaria. No item 2.3 realizou-se uma revisão bibliográfica sobre as pressões distribuídas no silo, bem como a determinação dos principais parâmetros para a realização do cálculo das pressões, e com isto, a importância do cálculo das pressões para a determinação da resistência a compressão e ao cisalhamento no bloco de concreto.





No capítulo 3, encontram-se os materiais e métodos empregados na etapa de produção de blocos de concreto, dimensionamento da fôrma manual para a produção, bem como o estudo comparativo de traços diferentes com dois tipos de cura para se verificar as melhores condições em obter blocos em perfeitas condições, com resistência superior ou igual à recomendada por norma. Encontra-se ainda, a metodologia empregada para determinar as principais características físicas e mecânicas do bloco em estudo como compressão, cisalhamento, absorção, teor de umidade entre outras.

No capítulo 4 encontram-se os resultados adquiridos experimentalmente e analiticamente e a discussão dos mesmos.

No capítulo 5 as conclusões que foram tiradas sobre o bloco em estudo e sugestões para pesquisas futuras.

Finalmente, no capítulo 6 as referencias bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento da dissertação.



## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 Blocos de concreto para alvenaria sem função estrutural

#### 2.1.1 - Conceituação



A idéia básica que estabelece a diferença entre blocos de concreto e tijolos cerâmicos empregados na construção de paredes de alvenaria é a maneira como os dois são executados na obra: o tijolo pode ser manuseado facilmente com apenas uma das mãos quando o mesmo está sendo assentado; o bloco tem que ser assentado com as duas mãos em função de sua geometria e o seu peso (MEDEIROS, 1993).

Outras diferenças encontradas é que os blocos de concreto são mais amplamente utilizados, já que podem ser fabricados em qualquer lugar, têm custo bastante compatível e apresentam ótimas resistências. Por outro lado, os blocos cerâmicos apresentam um desempenho superior em conforto térmico e acústico. Entretanto, apresentam um custo mais elevado (na maioria das vezes), são fabricados nos locais onde existe argila de ótima qualidade. Geralmente conseguem obter boas resistências em relação aos blocos de concretos, nem definem uma dimensão padrão, causando com isto algumas inseguranças ao construtor.

A norma Brasileira NBR 7170 (ABNT, 1993) define tijolos como sendo uma unidade de dimensões máxima de 250x120x55 mm (comprimento x largura x altura). A Norma Britânica BS 3921 (1974) utiliza-se também do conceito de dimensões máximas para definir tijolos, modificando entretanto, os valores de suas dimensões como sendo 337,5 x 225 x 112,5 mm (comprimento x largura x altura).

A norma Britânica BS 6073 (BSI, 1981) define blocos de acordo com as suas dimensões. Afirma ainda que bloco é uma unidade de alvenaria que excede as dimensões máxima dos tijolos, seja no comprimento, largura e altura. Ressaltando que a altura não deve

exceder o comprimento ou seis vezes a largura. Definido como blocos vazados aqueles que possuem cavidades que os atravessam no sentido da altura e volume de vazios inferior a 50% ao volume total do bloco.

A ABNT 6136 (ABNT, 1994) define blocos vazados como sendo aqueles que possuem furos prismáticos perpendiculares à face que os contêm e cuja seção transversal média útil é inferior a 75% da seção transversal bruta.

Com isto, pode-se perceber que a maioria das normas definem blocos de concreto de maneira incompleta, ora buscando o conceito dos materiais que os constituem, ora utilizando as dimensões e geometria (MEDEIROS, 1993).

Procurando conceituar de maneira mais objetiva, adotou-se neste trabalho a seguinte definição para o bloco em estudo.

"Bloco de Concreto é a unidade de alvenaria constituída pela mistura homogênea, adequadamente proporcionada, de Cimento Portland, Areia e Água, conformada através da compactação manual e possuem dimensões superiores a 250 x 120 x 55 mm (comprimento x largura x altura)".

### 2.1.2 – Classificação

A Norma Brasileira NBR 6136 (ABNT, 1994) define blocos vazados para alvenaria e também especifica as suas dimensões padronizadas, mantendo as suas dimensões modulares nominais de 200 mm para altura e 200 a 400 mm para o comprimento e especifica larguras entre 150 e 200 mm.

A Norma Britânica BS 6073 (BSI, 1981) também classifica blocos de concreto segundo as suas dimensões. Ao analisar as possibilidades de combinação dimensional

especificada nesta norma, pode-se chegar a 58 tipos diferentes de blocos. Um número bem superior ao da ABNT que especifica apenas 21 tipos de blocos.

Segundo MEDEIROS (1994) uma tipologia muito variada de blocos padronizados pode trazer confusão aos usuários, principalmente àqueles sem formação técnica específica. Para os profissionais ligados às atividades de projeto, entretanto, várias formas de blocos podem apresentar uma maior liberdade na concepção dos elementos para edificação. Para o fabricante, estes tipos de blocos podem causar complicações na produção exigindo um grau mais elevado de organização e gerenciamento das atividades utilizadas na produção.

A norma NBR 6136 (ABNT, 1994) apresenta ainda uma classificação para os blocos de concreto segundo a sua resistência e característica superficiais. Para esta norma os blocos podem ser de classe A e classe B. Blocos de classe A são aqueles que apresentam resistência característica à compressão -  $f_{ck}$  - igual ou superior a 6 MPa e possuem textura superficial lisa, podendo ser usados em alvenaria aparente; já os blocos da classe B possuem resistência característica à compressão - igual ou superior a 4 MPa e textura superficial rugosa, necessitando de revestimento. Estas especificações são para alvenaria com função estrutural. Enquanto a Norma ABNT 7173, normaliza e especifica Blocos de Concreto Sem Função Estrutural cuja média dos resultados de resistência deverá ser no mínimo de 2,5 MPa, sendo que nenhum resultado individual deverá ser inferior a 2,0 MPa.

### 2.1.3 - Tipos de blocos

De acordo com a MULTIBLOCOS (Industria e Comércio de Artefatos de Concreto Ltda.) os blocos de concreto podem ser encontrados em uma gama variada de formas, tamanhos, padrões, texturas e cores, tanto com ou sem função estrutural como decorativo ou de vedação.

Estes variados tipos de blocos permitem o uso do mesmo em praticamente todo tipo de obra. Por exemplo: edificações térreas, sobrados, edifícios de grande altura, residências, escolas, igrejas, indústrias, pisos, silos e tanques.

Qualquer que seja o tipo de bloco a ser usado nestas edificações, o fabricante deve atentar para o controle da graduação, proporção e limpeza dos agregados, da qualidade de água e do cimento, tempo de mistura, compactação das camadas (no caso de serem moldados manualmente), condições de cura e estocagem.

As principais partes de um bloco de concreto são apresentados na Figura 2.1 abaixo:

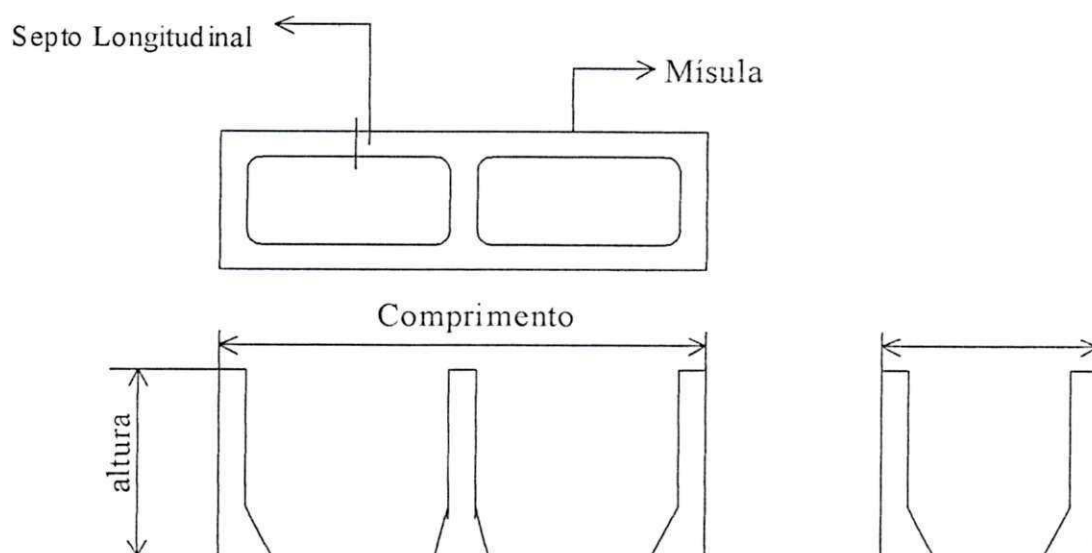


FIGURA 2.1 - Nomenclatura de partes e dimensões de um bloco de concreto (NCMA, 1988)

Na prática as dimensões nominais, incluindo as juntas dos blocos de concreto, são indicadas na seguinte ordem largura, altura e comprimento.

#### 2.1.4. - Propriedades dos blocos de concreto

As qualidades encontradas nos blocos de concreto são conhecidas em todo mundo como sendo: alta resistência mecânica, grande durabilidade, boa resistência ao fogo,

isolamento térmico e acústico, precisão dimensional e dimensões perfeitamente modulares. Mais para que isto ocorra os blocos devem ser produzidos adequadamente e sempre seguindo as recomendações impostas pelas normas (MEDEIROS, 1993).

Os blocos de concreto são de fácil utilização e podem adequar-se facilmente aos requisitos exigidos para a execução da alvenaria nos mais diferentes projetos, através de soluções simples e econômicas (MEDEIROS, 1993).

Nos itens a seguir discutir-se-ão as principais propriedades que envolvem o bloco em estudo como: a resistência à compressão, resistência à tração, capacidade de absorção, e outras propriedades como durabilidade e estética arquitetônica.

#### 2.1.4.1 - Resistência à compressão

A resistência à compressão de um bloco de concreto é o principal parâmetro de projeto para a execução da alvenaria. Esta propriedade torna-se a principal variável de controle do processo produtivo do bloco.

O principal fator que influi na resistência à compressão da parede é a resistência à compressão do bloco ou tijolo; a influência da resistência da argamassa de assentamento é pouca significativa. Para os blocos vazados de concreto GOMES (1998) relata pesquisa desenvolvida no B.R.E, tomando como referência à resistência à compressão de uma argamassa 1:3 (cimento e areia, em volume), verificando-se queda de apenas 20% na resistência das paredes ao se reduzir à resistência à compressão da argamassa em quase 85% (THOMAZ & HELENE, 2000).

Existem vários fatores que afetam a resistência à compressão dos blocos de concreto. Segundo METHA (1994) depende fundamentalmente do fator água/cimento, da natureza dos materiais (aglomerante + agregado), da água utilizada, da eficiência da



moldagem e desmoldagem e principalmente das condições de cura, pois uma cura bem feita irá promover uma melhor hidratação do cimento e com isto se adquire uma boa resistência.

De acordo com as normas Brasileiras NBR 6136 (ABNT, 1994) e NBR 7173 (ABNT, 1980) como na BS 6073: Part 1(BSI, 1981) e na ASTM C 90 (ASTM, 1991a) a resistência dos blocos vazados é calculada em relação à área bruta.

Holm (1976) acrescenta que os fabricantes de blocos de concreto devem se esforçar no sentido de fazer componentes que apresentem relação peso/resistência cada vez mais eficiente. Deste modo, será possível diminuir significativamente o custo das obras otimizando os resultados da edificação.

#### 2.1.4.2 - Resistência à tração

De acordo com FORREST (1996) o conhecimento da resistência à tração dos blocos de concreto é de fundamental importância para o desempenho da alvenaria, uma vez que são estes esforços responsáveis pela resistência das paredes da edificação.

Segundo HOLM (1976), as tensões de tração podem surgir a partir de variações volumétricas restringidas (retração na secagem, carbonatação, queda de temperaturas, situações definidas em projetos e ainda devido à movimentação estrutural (deflexões e recalques de fundação)).

METHA (1994), observa que existem relações entre vários tipos de resistências que são influenciadas por fatores como os métodos pelo quais a resistência à tração é medida, a qualidade do concreto isto é, baixa, média ou alta resistência e as características dos agregados. Por exemplo textura superficial e mineralógica.

SHRIVE (1982) afirmou que "As tensões de tração nos blocos estão concentradas nos septos e são responsáveis pela ruptura do bloco, quando carregada axialmente à compressão".

Analisando a evolução dos conhecimentos acerca dos ensaios nos Estados Unidos para resistência dos blocos de concreto, HOLM (1976) apresentou a Tabela 2.1.

TABELA 2.1 - Comparação entre os ensaios normalizados de blocos de concreto e concreto convencional de acordo com a norma americana (HOLM, 1976)

Propriedade ou Método de Controle	Concreto Convencional	Bloco de concreto
Resistência à compressão	Ensaio aos 28 dias para aceitação; amostrado e avaliado cuidadosamente.	Ensaio aos 28 dias para aceitação; muitas vezes testado de maneira imprópria
Resistência à tração	Bem documentado para cisalhamento, torção e análise fissuração.	Geralmente ignorado
Modulo de elasticidade	Bem documentado para análise de deflexão e estruturas.	Geralmente ignorado
Dosagem	Normalmente volumétrico, às vezes em peso.	Em peso
Densidade	Bem documentado e minuciosamente controlada	Geralmente especificada, ocasionalmente controlada
Controle de produção	Feito pela concreteira de acordo com a ASTM C 94 / 74 a.	Controle automatizado na fábrica.
Adensamento	Responsabilidade do construtor	Totalmente sob controle do produtor através dos tempos de alimentação e final da prensa.
Cura	Pouco controle. Responsabilidade do construtor	Totalmente sob controle do produtor nas primeiras idades.

#### 2.1.4.3 - Capacidade de absorção

A capacidade de absorção de água pelo bloco é uma característica relacionada à porosidade do material. A absorção inicial da água (sucção) é influenciada diretamente na aderência do bloco com a argamassa.

A absorção é uma propriedade importante do bloco de concreto que deve ser determinada, pois irá indicar a quantidade de vazios existente no bloco .

#### 2.1.4.4 - Outras propriedades

Entre outras propriedades que os blocos de concreto devem apresentar destacam-se a durabilidade e a estética arquitetônica.

Os desempenhos dos blocos devem ser conhecidos frente à ação de agentes agressivos advindos do meio exterior. Verifica-se que quando se executa uma alvenaria de acordo com os cuidados sugeridos pelas normas em vigência deve-se eliminar estes riscos de deterioração com o tempo da alvenaria e, desta forma, se faz com que a edificação tenha uma durabilidade bem maior do que a prevista.

A estética tem sido outra grande preocupação dos projetistas de blocos de concreto produzidos nos principais mercados mundiais, pois quando se executa uma parede de blocos de concreto se tem como finalidade à economia nos custos. Com isto se a alvenaria estiver com uma boa estética não será preciso fazer algum tipo de revestimento como por exemplo, uma pintura ou um reboco meio exagerado (MEDEIROS, 1993).

## 2.2 Produção de blocos de concreto para alvenaria sem função estrutural

Neste item se discute a tecnologia atualmente usada para a produção de blocos de concretos voltados para a execução de edificações, onde serão analisados dados referentes à produção de blocos no Brasil e em outros Países.

### 2.2.1 - Surgimento e evolução

Os blocos de concreto, assim como são conhecidos atualmente, surgiram nos Estados Unidos por volta de 1900. Onde os avanços tecnológicos da alvenaria de blocos culminaram com a publicação, em 1967, da "Specification for the design and the construction of load bearing concrete masonry" pela National Concrete Masonry Association" (ABCP, 1974).

No início tentou-se encontrar um substituto mais econômico para a pedra e o tijolo cerâmico usando-se areia, brita e cal ao invés do cimento portland. As experiências continuaram e vários tipos de blocos foram produzidos, usando-se composições e técnicas diferentes (LEFER, 1976). Acredita-se que o primeiro tenha sido moldado em 1882 nos Estados Unidos (PCA, 1988).

Os blocos eram normalmente padronizados no próprio canteiro de obra em que seriam utilizados. Possuíam dimensões de 200x250x75 mm e eram tão pesados que exigiam um guindaste manual para o seu assentamento. Já por volta de 1905, o governo Norte Americano adotou o bloco de concreto para a construção de hospitais, armazéns, depósitos e quartéis nas obras do canal do Panamá e nas Filipinas.

Em 1906, ocorreu um terremoto em São Francisco que destruiu cerca de dois terço da cidade, deixando um saldo curioso: duas grandes edificações de alvenaria de bloco de concreto - uma igreja e uma fábrica - ficaram virtualmente sem danos (LEFER, 1976).

Em 1963, Paul Rudolph utilizou os "Customized Blocks" em grande escala para seus projetos. Entre estas destacaram-se o "Fine Arts Building" da Colgate University e o "Yale University's Art and Architecture Building". Rudolph foi também conhecido o criador do famoso bloco "split", hoje bastante utilizado no Brasil.

Em quase 100 anos de existência, os blocos de concreto deixaram de ser uma alternativa inovadora para tornarem-se um dos componentes mais utilizados na construção civil mundial.

Com a constante evolução nas pesquisas e nos projetos com a alvenaria de blocos de concretos motivou-se uma melhoria sensível na qualidade dos blocos, envolvendo principalmente, o desenvolvimento de novas matérias-primas e a melhoria dos processos de fabricação (NCMA, 1978).

Nos últimos anos surgiram novos conceitos de blocos no mercado. Propostas para novos "Customized Blocks", blocos leves e de alto isolamento termo- acústicos, blocos para pavimentação e blocos impermeáveis (dry-blocks) para uso em alvenaria aparente são os mais empregados nos grandes mercados internacionais.

Na Europa, particularmente na França, Grã-Bretânia e Alemanha, o uso de alvenaria de blocos de concreto estendeu-se rapidamente logo após a Segunda Guerra Mundial. Estes foram empregados na construção de edifícios, hospitais, escolas, indústrias, supermercados etc (Concrete, 1987).

Silos construídos com blocos ou placas de concretos mais usados mundialmente são reforçados com colunas e vigas de concreto. Na Figura 2.2 tem-se um silo

projetado pela British Concrete Federation, no qual utilizaram-se placas de concreto e sendo reforçado por colunas de concreto.

Em meados da década de 40 surgiu a idéia de um bloco especial de concreto, no qual era composto de cimento, areia e água (Figura 2.3), e que foram desenvolvidos para silos circulares, nos quais não seria preciso de reforço em suas paredes, ou seja não fora preciso o reforço de colunas de concreto nem vigas circulares.

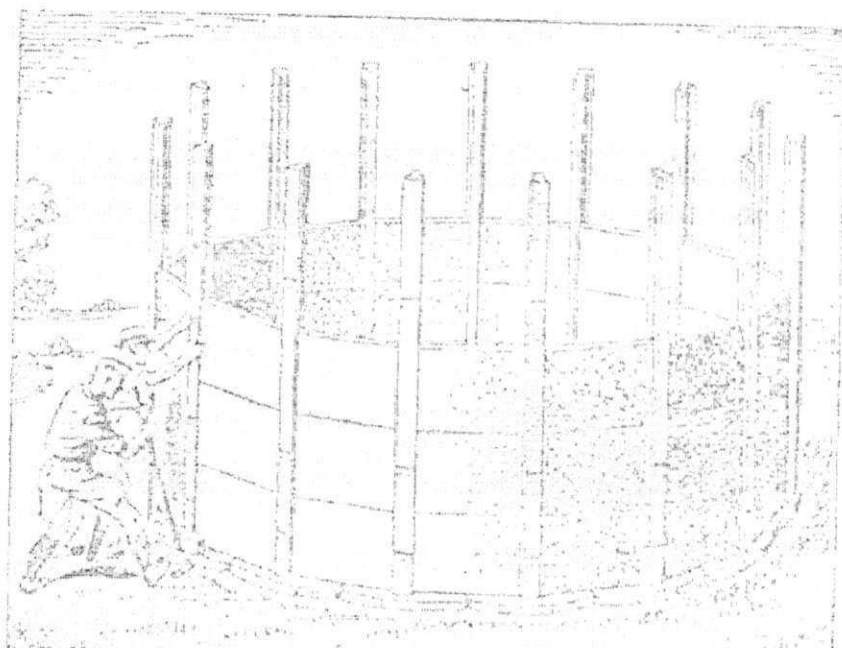


FIGURA 2.2 - Execução de um silo circular de placas de concreto com reforço de estrutural



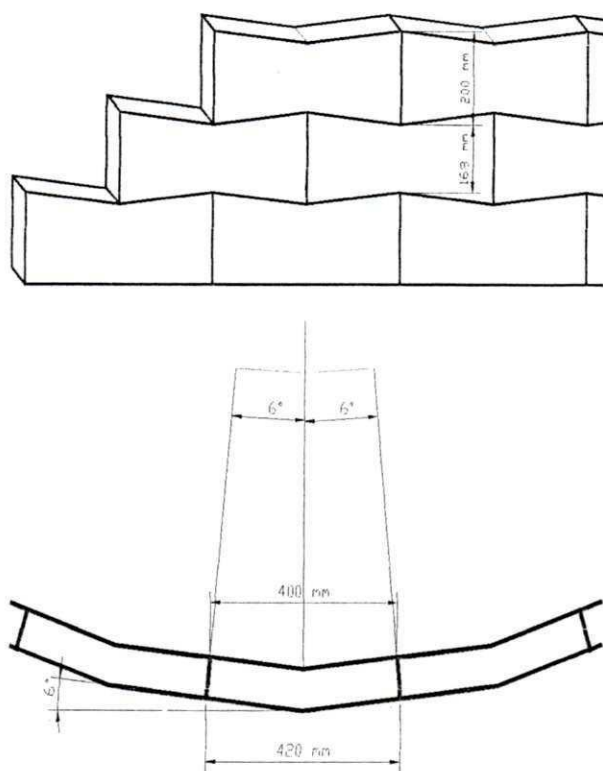


FIGURA 2.3 - Blocos de concreto para silos circulares de alvenaria sem reforço estrutural

De acordo com PUGA (1998), a grande maioria dos edifícios em alvenaria construídos hoje no Brasil corresponde à alvenaria não armada, por dois motivos básicos: a) é muito pequena a contribuição das armaduras na resistência final da alvenaria frente às cargas verticais; b) há indústrias que já produzem blocos com resistência mecânica relativamente altas, com boa homogeneidade da produção. O projetista esclarece que a alvenaria armada justifica-se quando ocorrem esforços de tração ou no caso de edifícios muito esbeltos, onde a ação global do vento passa a ser mais importante.

### 2.2.2 - Produção de blocos de concreto no Brasil

Os blocos de concreto chegaram ao Brasil somente na década de 50, quando foi importada dos Estados Unidos a primeira máquina para a produção destes componentes. Na época a idéia foi aproveitar os resíduos de britagem das grandes barragens para produção de



blocos, destinados à construção de núcleo habitacionais em hidrelétricas. Em 1966 instalou-se em São Paulo a primeira fábrica de blocos de concreto para alvenaria estrutural.

Porém, foi somente nos anos 70 que os blocos de concreto consolidaram-se no mercado brasileiro, principalmente devido à grande divulgação das primeiras obras de alvenaria armada de bloco de concreto.

No Brasil, os blocos de concreto ainda não obtiveram a importância observada em outros países. As principais razões que explicam este fato podem ser atribuídas ao frágil desempenho que as obras de alvenaria de blocos de concreto têm apresentado durante os últimos anos e à falta de informação generalizada do meio técnico a respeito do assunto.

Mesmo sendo intimamente relacionado à questão do projeto, se faz necessária portanto, uma análise mais global para se concluir sobre o mérito do desempenho. O não cumprimento dos requisitos básicos necessários ao bom comportamento da alvenaria tem levado o mercado a desacreditar das grandes potencialidades da alvenaria de blocos de concreto (MEDEIROS, 1993).

Verificando na prática o resultado final das obras construídas, o construtor desinformado normalmente atribui ao bloco a responsabilidade pela deficiência de comportamento global da edificação.

Esta falta de conhecimento do processo como um todo acaba subtraindo espaços potenciais de aplicação do bloco em determinadas situações.

Nos últimos anos, entretanto, vários acontecimentos têm contribuído para atenuar este quadro. O bloco de concreto tem passado a ser reconhecido como uma importante alternativa para a construção de edificações industriais, comerciais e habitacionais, de desempenho comprovadamente adequado à realidade brasileira, no tocante à economia e rapidez de execução.

O atual mercado nacional, embora de proporções relativamente reduzidas, vem crescendo surpreendentemente, conforme se verifica pelas numerosas construções com emprego de blocos de concreto e pelo desenvolvimento das fábricas de máquinas, constituindo-se num ramo suscetível de grandes ampliações (ABCP, 1978).

Segundo MEDEIROS (1993), os principais fatos que caracterizam a mudança do quadro existente podem ser verificados a partir das seguintes constatações:

⇒ Aparecimento de fábricas capazes de produzir blocos de concreto de alta qualidade, embora o mercado e o meio técnico ainda não conheçam plenamente as vantagens apresentadas por estes componentes;

⇒ Organização de associações de fabricantes, voltadas à divulgação e padronização dos blocos estruturais como o SINPROCIM- Sindicato da Indústria de Produtos de Cimento do Estado de São Paulo e a ABCI - Associação Brasileira da Construção Industrializada. O SINPROCIM está desenvolvendo desde 1991 um selo de conformidade para os blocos de concreto do mercado que atendam aos requisitos das normas da ABNT;

⇒ Desenvolvimento de tecnologia nacional adequada à construção, em alvenaria estrutural de blocos de concreto, de edificações competentes, seguras e duráveis;

⇒ A proliferação, em todo o território nacional, de fábricas de blocos de concreto, aumentando consideravelmente o número de usuários que descobrem, pouco a pouco, as vantagens da utilização dos blocos de concreto.

Com o aumento do número de fábricas de blocos, surge outro aspecto complicante: a grande maioria dos novos fabricantes de blocos possui pouca ou quase nenhuma informação e infra-estrutura adequada à produção de componentes de qualidade.

Este fato tem chamado atenção das entidades de classe, uma vez que os pequenos produtores dificilmente conseguem se adequar aos padrões impostos pelas normas,

não investem na melhoria de suas instalações, nem controlam a qualidade dos produtos que fabricam, colocando no mercado componentes de baixa qualidade, que comprometem a imagem dos blocos de concreto produzidos com tecnologia apropriada (MEDEIROS, 1993).

No momento, nos principais centros de produção de materiais de construção, desenvolve-se uma pesquisa que visa a revelar as condições de adaptação da indústria de blocos de concreto à aplicação da coordenação modular. Esta é uma metodologia que proporcionará os elementos necessários à racionalização da construção civil e o aumento de sua produtividade, criando-se uma estrutura adequada para uma industrialização mais rápida.

2.2.3 - Insumos básicos empregados na produção e no assentamento de blocos de concreto

#### 2.2.3.1 - Agregados

A qualidade dos agregados é de fundamental importância para se obter as propriedades físicas dos blocos de concreto.

As características deste material podem interferir na aderência com a pasta de cimento, alterando a homogeneidade e a resistência do concreto.

A resistência mecânica dos agregados tem influência na resistência do bloco, uma vez que estes ocupam a maior parte do volume existente no concreto e permite também uma maior ou menor grau de compactação, de acordo com a sua distribuição granulométrica.

A NBR 9935/87 define agregado como um material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequado para produção de argamassa e concreto.

### ▪ Agregado miúdo

A NBR 7211, define agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis cujos grãos passam pela peneira 4,8 mm e ficam retidos na peneira 0,076 mm.

As areias naturais usadas para a produção de blocos de concreto devem possuir grãos duros, compactos, duráveis e limpos. Estes agregados devem ser lavados para retirada do excesso de material fino e material orgânico, sendo recomendado o uso de areia de rio, já que esta normalmente apresenta-se lavada desde a sua origem. As areias de jazidas podem ser aceitas se forem lavadas artificialmente de forma a se enquadrarem dentro dos limites preestabelecidos pela norma.

Quando mais fina a areia que se utiliza na produção, mais lisa será a textura superficial dos blocos. Normalmente a textura do bloco não precisa ser nem muito lisa nem muito áspera, salvo alguma prescrição específica prevista no projeto.

Quando muito lisa a superfície do bloco pode vir a comprometer a aderência do revestimento de argamassa, exigindo eventualmente a aplicação de chapisco para preparação da base. Evidentemente, se o bloco for destinado ao uso em alvenaria aparente ou para pintura direta, este requisito pode ser desejável.

Quando muito rugosa, a superfície do bloco pode dificultar o contato da argamassa de revestimento, diminuindo conseqüentemente a área a ser aderida.

Pode-se empregar também areias artificiais para a produção de blocos, desde que se respeite o limite mínimo de qualidade.

Deve-se considerar que a falta de continuidade na distribuição granulométrica dos grãos de um agregado pode, isoladamente, causar grandes variações na homogeneidade

de fabricação, comprometendo de modo irreversível a qualidade dos blocos (MEDEIROS, 1993).



### 2.2.3.2 - Cimento portland

O cimento portland é um material pulverulento constituído de silicatos e aluminado complexos que ao serem misturados com água hidratam-se resultando o endurecimento da massa, que pode então oferecer elevada resistência mecânica.

O cimento portland não aglomera areia e agregado graúdo; ele só adquire a propriedade adesiva quando misturado à água. Isto acontece porque as reações químicas do cimento com a água, comumente chamada de hidratação do cimento geram as propriedades de pega e endurecimento (METHA, 1994).

De acordo com BAUER (1995), as propriedades físicas do cimento portland são consideradas sob três aspectos distintos: propriedades do produto em sua condição natural, em pó; da mistura do cimento e água e proporção conveniente de pasta e, finalmente, da mistura da pasta com agregado padronizado, as argamassas.

As propriedades da pasta e argamassa são relacionadas com o comportamento do cimento quando utilizado, ou seja, às suas propriedades potenciais para a elaboração do concreto e da argamassa.

Além disto, deve-se ter cuidados especiais na escolha do cimento, ou seja, deve-se utilizar o cimento que está sendo vendido no comércio para que não ocorram variações nas propriedades físicas do concreto e ao mesmo tempo usar o cimento específico para a ocasião.

### 2.2.3.3 - Água

A água participa ativamente do processo de hidratação do cimento, na preparação do concreto, além de ser utilizada durante o processo de cura. Desta maneira, é de fundamental importância que a água que será empregada na produção de blocos seja livre de impurezas.

As águas potáveis são presumivelmente satisfatórias para o preparo dos blocos. Por outro lado, o efeito das impurezas na água de amassamento depende da natureza e do teor das substâncias encontradas tais como ácidos, óleos e material orgânico.

### 2.2.3.4 - Argamassa de assentamento

A eficiência de uma argamassa, seja para alvenaria, revestimento ou piso, depende da aplicação da dosagem correta (MASSETO, 2001).

Caso esta dosagem não venha a ser aplicada corretamente irá ocorrer uma insuficiência na aderência entre o bloco e a junta da argamassa, podendo com isto prejudicar as propriedades de uma parede de alvenaria (MEDEIROS, 1994).

A aderência entre o bloco de concreto e a argamassa de assentamento também é um dos parâmetros que modifica a capacidade resistente das paredes de alvenaria. A insuficiência de aderência entre o bloco e a junta de argamassa pode prejudicar praticamente todas as propriedades de uma parede. A aderência é, na verdade, uma conjugação de três propriedades da interface bloco-argamassa: a resistência de aderência à tração, a resistência de aderência ao cisalhamento e a extensão de aderência. (SABBATINI, 1984).

A resistência e o tipo de material colocado como junta modificam substancialmente o comportamento resistente do prisma de alvenaria. Se o material da junta é mais rígido que os blocos, há um aumento da resistência à compressão do prisma pelo

incremento do grau de confinamento dos blocos e para o caso contrário o efeito dá-se de maneira inversa (GALLEGOS, 1991).

### 2.3 Silos Cilíndricos de Baixa Relação Altura / Diâmetro

De acordo com GOMES (2000), a importância da classificação das estruturas de armazenamento de produtos a granel, segundo as suas dimensões, está no fato que, de um modo geral, a previsão das pressões estáticas ou dinâmicas estão baseadas segundo essa classificação. Embora algumas normas não façam essa classificação, na maioria das vezes, prevêem pressões diferenciadas em função da relação altura/diâmetro. A Tabela 2.2 apresenta a classificação dos silos segundo as suas dimensões, de acordo com as principais normas internacionais.

TABELA 2.2 - Classificação geométrica dos silos segundo as normas internacionais

Norma	Classificação		
	Baixo	Medianamente Baixo	Esbelto
Australiana AS3774 - 1996	$H/D < 1$	$1 < H/D < 3$	$H/D > 3$
ISO 11697 - 1997	$H/D < 1,5$	---	$H/D > 1,5$
Americana ACI313 - 1991	$H/D < 2$	---	$H/D > 2$
Alemã DIN1055 - 1987	$H/D < 2,5 \mu$	$2,5\mu < H/D < 5\mu$	$H/D > 5\mu$
BMHB - 1985	$H/D < 1,5$	---	$H/D > 1,5$

Analogamente aos silos altos, os silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro podem ser construídos com os mais diversos materiais, mas a grande maioria destes tipos de silos, mesmo em termos mundiais, são metálicos, de chapas lisas ou corrugadas. A célula de fundo plano requer menos altura para um determinado volume de produto armazenado. O seu custo inicial é baixo, comparado a outros tipos, e uma das razões pela qual a construção pode ser econômica é que o produto repousa sobre o solo, no qual o mesmo é isolado apenas por uma laje plana impermeável (GOMES, 2000).



### 2.3.1 Propriedades de fluxo do produto armazenado

Segundo CALIL (1990), a pressão nas paredes em um silo depende de três parâmetros: 1 - Propriedades de fluxo do produto armazenado; 2 - Propriedades geométricas e estruturais do silo e 3 - Modo de operação. As mudanças desses parâmetros a serem considerados poderão a provocar variações no espaço e no decorrer do tempo em que o produto estiver armazenado. A interação dos parâmetros produz um tipo de tensão no produto armazenado durante o carregamento e no descarregamento, que afeta a grandeza e a distribuição das pressões nas paredes do silo e na massa do produto. De acordo com SILVA (1993), a variabilidade espacial e temporária das pressões ocorre devido aos produtos armazenados em silos, os quais impedem que as pressões sejam calculadas com certeza e precisão absoluta. Com intuito de caracterizar os principais fatores que afetam as medições das pressões em silos, de acordo com a Tabela 2.3, observam-se as principais características ou fatores que afetaram a predição das pressões nas paredes do silo.

TABELA 2.3- Fatores que afetam a predição das pressões nas paredes de um silo

<b>Propriedades dos produtos armazenados</b>	<b>Características do silo</b>	<b>Modos de operação</b>
Peso específico	Altura de carga	Vazão de carga
Angulo de atrito interno	Seção transversal	Vazão de descarga
Angulo de atrito com a parede	Geometria da descarga	Fluxo
Forma , dimensão e distribuição das partículas	Obstruções internas	Carregamento
Resistência elástica e cisalhante	Rigidez na parede	Descarga
Coesão	Rugosidade da parede	Excentricidade de carregamento
Consolidação	---	Excentricidade de descarga
Umidade	---	---
Temperatura	---	---

Entre estes parâmetros levantados pode-se determinar através de experimentos realizados em laboratório as propriedades dos produtos armazenados. No campo experimental o domínio das características do silo é facilitado pela interferência nas características geométricas. Quanto ao modo de operação, o planejamento e conhecimento prévio sobre as variáveis.

De acordo com a Norma ISO 11697(1995), as pressões em silos dependem de dois parâmetros que são as propriedades de fluxo do produto e da geometria do silo.

As propriedades de fluxo dos produtos armazenados são extremamente importantes na determinação das pressões em silo. As normas internacionais destacam as propriedades e informam sobre sua importância, variabilidade, métodos e equipamentos para a sua determinação.

Com todas estas considerações poder-se-á descrever as principais propriedades de fluxo para predição das pressões que ocorre em silo.

#### 2.3.1.1. Peso específico

O peso específico ( $\gamma$ ), é definido como a quantidade de massa de partículas sólidas dividida pelo seu volume total e multiplicado pela aceleração da gravidade ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ).

As normas internacionais recomendam que os valores sejam aplicados em função dos valores determinados em laboratórios e considerada sua variação, devem ser tomados valores inferiores e superiores. Quando não é possível sua determinação sugere-se a utilização dos valores multiplicados por 0,75 e 1,25 do valor tabelado por Norma (GOMES, 2000).

Recentes pesquisas demonstram que o peso específico do produto armazenado em silo é função de sua umidade, das sobrepressões que ocorrem no silo, do tempo de armazenamento, da taxa de carregamento, do modo de carregamento e da altura de queda do produto. Ficou constatado que os valores reais desse parâmetro em geral divergem dos estabelecidos por normas, recomendando um aumento de 6% sobre os valores observados, (CFBC, 1983).

### 2.3.1.2 Ângulo de atrito interno

O ângulo de atrito interno refere-se às condições internas do maciço, dependendo do nível de pressões médias aplicado a todos os grãos do maciço. O aumento das pressões de confinamento irá tornar o maciço mais denso (com menor índice de vazios). Dessa forma, o ângulo de atrito interno aumenta com o peso específico do maciço ou com a diminuição do índice de vazios, e portanto, o ângulo de atrito interno tende a ser maior do que o de repouso. "Um sólido em um recipiente é solicitado por pressões que causam consolidação e fornecem resistência ao mesmo. As pressões mais importantes ocorrem durante o descarregamento do produto, ou durante a deformação contínua acima do seu limite elástico" (CALIL, 1990).

### 2.3.1.3 Efetivo ângulo de atrito interno

A determinação das propriedades dos produtos armazenados depende do conhecimento do lugar geométrico de deslizamento (YL) determinados pela relação entre a tensão de cisalhamento e a tensão normal para o produto armazenado. De acordo com a Figura 2.4, pode-se determinar o ângulo de atrito interno, formado pela reta do lugar

geométrico de deslizamento no plano horizontal. O efetivo ângulo de atrito interno é formado com o plano horizontal a partir de uma linha entre a origem e P, (tangente ao YL no semicírculo de MOHR da maior tensão de consolidação) como está indicado na figura 2.5. O efetivo ângulo de atrito interno,  $\phi_e$ , é obtido de forma igual ao ângulo de atrito interno,  $\phi_i$ , quando consideramos o produto de fluxo livre. Tal observação nos conduz a dimensionamentos mais adequados nos projetos de silos que apresentam tremonhas para este tipo de produto. Devido às condições de geometria do fundo, as tensões impostas aos produtos armazenados são alteradas, exigindo-se uma análise mais detalhada de sua magnitude e distribuição.

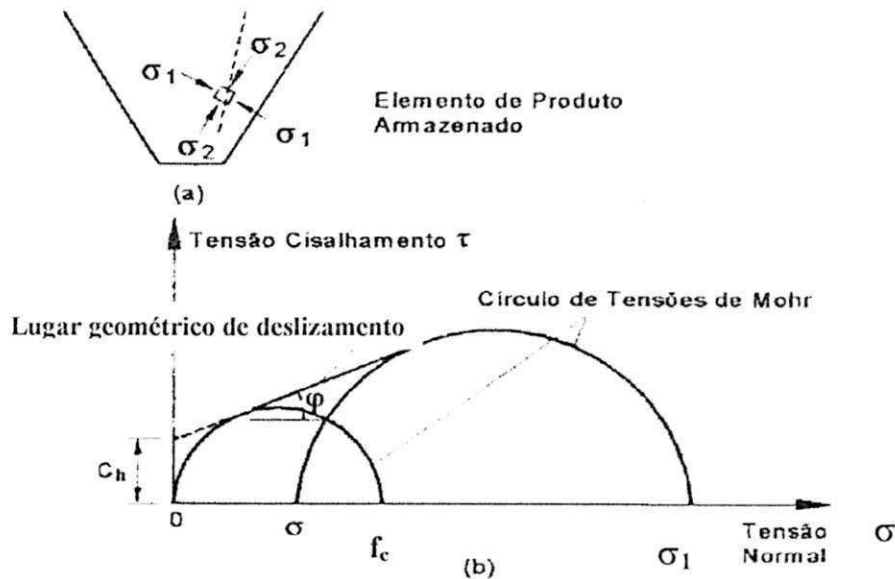


FIGURA 2.4 - Representação do lugar geométrico de deslizamento (Yield Locus)

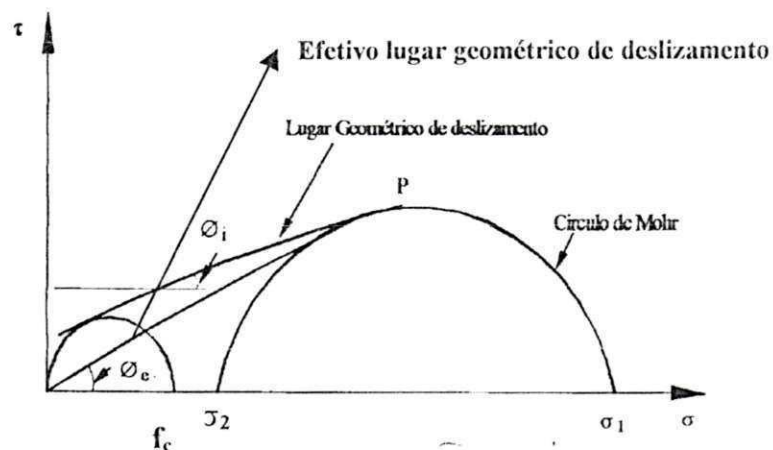


FIGURA 2.5 - Representação gráfica do ângulo de atrito interno e efetivo ângulo de atrito interno

#### 2.3.1.4 Ângulo e coeficiente de atrito do produto com a parede

O ângulo de atrito do produto com a parede é determinado na célula de cisalhamento de Jenike, substituindo a parte inferior da célula pelo material a ser testado e define o lugar geométrico da parede para uma série de pressões de consolidação. O lugar geométrico é desenhado no mesmo gráfico do YL e o seu ponto de interseção determinado com o círculo de Mohr de maior consolidação. O ponto mais alto da interseção é escolhido. O ângulo da linha reta deste ponto, através da origem, é o ângulo de atrito do produto com a parede ( $\phi_w$ ).

Este parâmetro é de grande importância, tanto para o fluxo, quanto para o cálculo das pressões, devendo ser considerado para todas as condições desfavoráveis como umidade, corrosão, abrasão, revestimento da superfície. Nos cálculos de pressão é tomado o menor valor do ângulo determinado nos ensaios, também conhecido como limite inferior do ângulo de atrito interno do produto com a parede (SCHWEDES, 1983).

O coeficiente de atrito do produto com a parede é determinado fazendo-se o arco tangente do ângulo de atrito do produto com a parede. BLIGHT (1990) investigou o comportamento do coeficiente de atrito com a parede levando em consideração o efeito de diferentes rugosidades e da presença de descontinuidades nas paredes causadas por dobras, soldas, sobreposição e etc. Os testes realizados mostraram que esse parâmetro é bastante sensível às descontinuidades em uma superfície, sejam elas paralelas ou normais à direção do movimento do produto.

### 2.3.2 Pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura / diâmetro

A maioria das Normas internacional adota a Teoria de Janssem e/ou de A & M. Reimbert para a previsão das pressões estáticas, como também considera coeficiente de sobrepressão para a obtenção das pressões dinâmica, na qual as pressões estáticas ocorrem quando o silo está sendo carregado; enquanto que a dinâmica se desenvolver quando o silo está sendo descarregado.

Pouco se sabe sobre a magnitude e a distribuição da pressão normal à paredes de silos baixos. Do ponto de vista técnico, os silos de baixa relação altura/diâmetro apresentam menos estabilidade geral, mas maiores problemas de estabilidade local (CALIL, 1990). Os silos de baixa relação altura/diâmetro descarregados centralmente não estão sujeitos a grande redistribuição de pressões durante o descarregamento. As pressões em silos baixos são muito afetadas pela forma da superfície livre do produto armazenado, o que não tem a mesma influência em silos altos. De modo geral, as normas não consideram as implicações deste fato, de modo a se obtém formulações mais precisas e econômicas. (BROWN & NIELSEN, 1998).



Atualmente os projetos de silos verticais têm se baseado tradicionalmente, em experiências anteriores, o que tem levado a soluções conservadoras, devido à falta de conhecimento das pressões que realmente ocorrem. As dificuldades encontradas pelos projetistas podem ser verificadas quando novos materiais de construção e métodos de projeto estruturais concorrem na redução dos custos e no fator de segurança.

No estudo das pressões três fatores de interesse devem ser destacados: o primeiro é o econômico, pois várias instalações foram e estão sendo construídas em todo o país e no mundo e requerem projetos mais elaborados. O segundo é o científico, pois os silos são estruturas complexas onde se combinam comportamentos estruturais de diferentes materiais, e mesmo após uma série de estudos, ainda existem grandes lacunas de conhecimento que estimulam vários pesquisadores a desenvolverem trabalhos no campo das pressões. O terceiro é o social, pois vários problemas ocorreram devido ao não conhecimento do comportamento das estruturas de armazenamento (GOMES, 2000).

Ver-se-ão a seguir algumas teorias e normas utilizadas para realização do cálculo das pressões em silos utilizadas pelos pesquisadores.

#### 2.3.2.1 Teoria de Janssen

A maioria das normas utilizadas para o cálculo das pressões estática e dinâmica em silos verticais baseia-se na teoria de Janssen. A norma Alemã DIN - 1055, a mais aplicada nos últimos anos, utiliza a teoria de Janssen, mas fornece alguns valores diferenciados como, por exemplo, o coeficiente de atrito entre o produto e a parede e o valor de "K" (razão entre a pressão horizontal com a pressão vertical).

A norma ACI 313(1991), para silos de concreto para produtos granulares especifica coeficientes de sobrepressão baseado num código Soviético que estabelece valores



diferenciados para pressões de carregamento e descarregamento. Outras normas também foram desenvolvidas posteriormente e suas aplicações se verificam em diversos países como a ISO 11697(1995) e Australiana AS3774 (1996).

A teoria de Janssen é a mais aceita para o cálculo das pressões em paredes verticais. As pressões verticais e horizontais foram determinadas pelo equilíbrio de forças verticais que atraem numa camada horizontal de espessura infinitesimal do produto armazenado. De acordo com TROITSKY (1982), Janssen considerou as seguintes hipóteses:

1. A pressão vertical é constante em uma seção transversal horizontal do produto armazenado;
2. Adota-se um valor de  $K$  constante em qualquer profundidade.

Sobre a camada infinitesimal atuam o peso próprio da mesma, as forças nas faces superior e inferior devidas ao produto e a força devido ao atrito entre o produto e a parede. De acordo com a Figura 2.6 abaixo verificamos estas forças agindo sobre a camada.

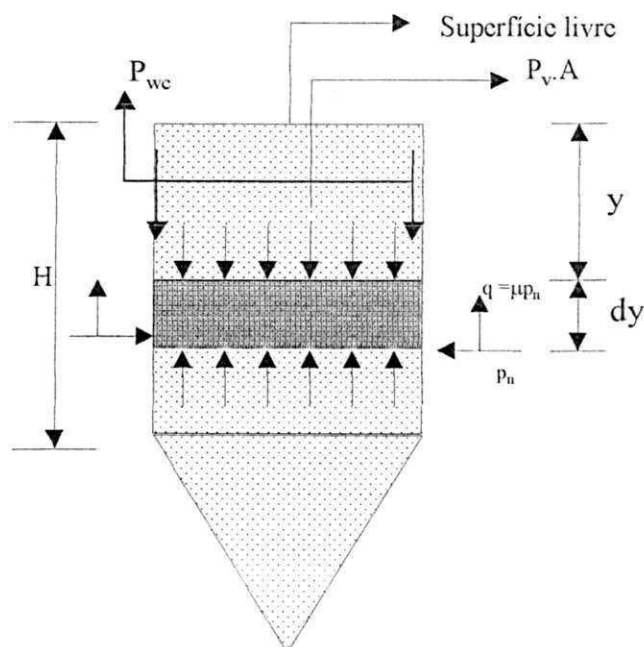


FIGURA 2.6 - Forças agindo sobre uma camada infinitesimal

Onde podemos definir:

$q$  - pressão de atrito sobre a parede, onde  $q = \mu t g \phi_w$ ;

$\gamma$  - peso específico do produto;

$A$  - área da seção transversal horizontal do silo;

$I$  - perímetro da seção transversal;

$z$  - Altura do produto acima da seção transversal considerada ;

$R$  - raio hidráulico (relação entre a área da seção transversal e o perímetro da mesma).

$P_v$  - Pressão vertical atuando sobre a seção transversal da massa;

$P_h$  - Pressão horizontal atuando na parede do silo;

$P_{wc}$  - Pressão de atrito do produto com a parede.

Sendo a força de atrito total dada por  $q \cdot I \cdot dz$ , através do equilíbrio das forças na direção vertical chega-se à seguinte equação diferencial:

$$\frac{dp_v}{z - \frac{\mu k p_v}{R}} = dy \quad (01)$$

Integrando-se a equação anterior, temos:

$$\ln\left(z - \frac{\mu k p_v}{R}\right) = \left(\frac{-\mu k}{R} z\right) + c \quad (02)$$

Quando  $z = 0$ , tem-se  $p_v = 0$ , então  $c = \ln z$  e finalmente chega-se à equação de

Janssen:




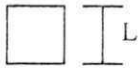

$$\text{a) Pressão horizontal} \quad P_{hc} = \frac{\gamma R}{\mu} \left( 1 - e^{-\frac{\mu K}{R} Z} \right) \quad (03)$$

$$\text{Pressão vertical} \quad P_{Vc} = \frac{\gamma R}{\mu K} \left( 1 - e^{-\frac{\mu K}{R} Z} \right) \quad (04)$$

$$\text{Pressão com a parede} \quad P_{Wc} = \gamma R \left( 1 - e^{-\frac{\mu K}{R} Z} \right) \quad (05)$$

A formulação de Janssen, como pode se observar, depende do raio hidráulico. De acordo com a Tabela 2.4 temos algumas seções transversais e seus respectivos raios hidráulicos.

TABELA 2.4 - Seção transversal e seus respectivos raios hidráulico (DIN 1055)

Seção Transversal	Raio Hidráulico	Diagrama
Circular	0,25 D	
Quadrada	0,25 L	
Poligonal	0,27dc	

O valor de **K** é determinado pela relação entre a pressão horizontal e a pressão vertical, a qual é determinada pela expressão abaixo:

$$K = \frac{P_h}{P_v} = \frac{1 - \text{sen } \phi}{1 + \text{sen } \phi} \quad (06)$$

onde :  $P_h$  -- pressão horizontal

$P_v$  -- pressão vertical

$\phi$  -- ângulo de atrito interno

Alguns pesquisadores questionam a validade da teoria de Janssen e propõem a solução de Rankine desenvolvida para uma parede de contenção de terra em extensão ilimitada. (CALIL, 1987).

### 2.3.2.2 Teoria de Rankine

A teoria de Rankine foi publicada em 1857. Nela o pesquisador analisa o estado de tensão em um maciço granular, solto, não coesivo e semi-infinito. Sua análise foi baseada na hipótese de que uma deformação no maciço produz um estado ativo ou passivo de pressões, conforme a pressão vertical seja maior ou a menor pressão principal. Segundo SAFARI e HARRIS (1985), este método foi desenvolvido inicialmente para muros de arrimos, não sendo um método muito preciso para silos, tendo em vista que ignora as condições de contorno deste tipo de unidade armazenadora cuja força de atrito nas paredes é considerada nula. De acordo com a Figura 2.7, que apresenta as pressões exercidas pelo produto e parâmetros envolvidos para silos baixos e de fundo plano, de acordo com a teoria de Rankine.

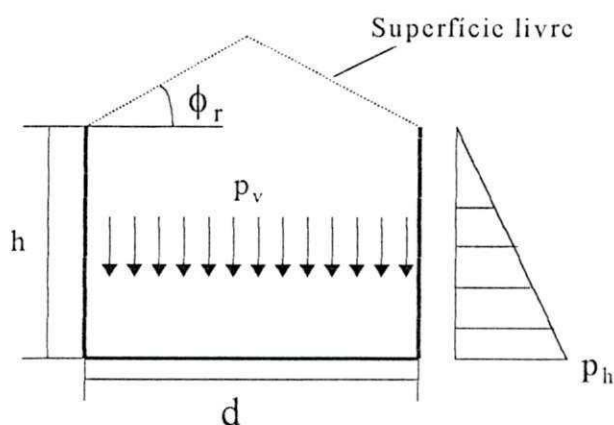


FIGURA 2.7 - Pressões exercidas pelo produto em silos de fundo plano, de acordo com a teoria de Rankine

De acordo com as seguintes situações em relação à superfície livre do produto, com isto foram realizadas as seguintes formulações para as pressões horizontais e verticais:

a) Superfície de topo do produto armazenado na horizontal

i. Pressão horizontal estática na profundidade  $z$

$$P_h = K \gamma z \quad (07)$$

Onde: 
$$K = \frac{1 - \operatorname{sen} \phi_r}{1 + \operatorname{sen} \phi_r} \quad (08)$$

$\phi_r$  - ângulo de repouso do produto

$z$  - profundidade do silo

$\gamma$  - densidade do produto

ii. Pressão vertical estática na profundidade  $z$

$$P_v = \gamma z \quad (09)$$

b) Superfície do produto armazenado com inclinação igual ao ângulo de repouso

i. Pressão horizontal estática na profundidade  $z$

$$P_h = \gamma z \cos^2 \phi_r \quad (10)$$

ii. Pressão vertical estática na profundidade  $z$

$$P_v = \gamma (z + a_0 \operatorname{tg} \phi_r) \quad (11)$$

### 2.3.2.3 - Norma ISO

De acordo com a Norma ISO 11697(1995), as pressões em silos circulares são valores nominais que devem ser calculados por partes importantes durante o início e fim do projeto estrutural do silo.

As pressões de carregamento em silos dependem principalmente das propriedades do produto e da geometria do mesmo. Porém, a pressão de descarregamento é influenciada pelo surgimento do fluxo durante o processo de esvaziamento.

A análise das pressões é baseada na teoria de Janssen e são calculadas a partir das relações indicadas no item 2.3.2.1 (equações 03, 04 e 05).

De acordo com a Tabela 2.5, podemos determinar os valores da densidade ( $\gamma$ ), coeficiente de atrito da parede com o produto ( $\mu$ ) e o valor de  $K$ , para cada classe de produto que está representado na Tabela 2.6:

TABELA 2.5 - Classe dos materiais

Classe dos Materiais	Densidade ( $\gamma$ ) kN/m <sup>3</sup>	Razão entre as pressões (K)	Coefficiente de atrito da parede ( $\mu$ )
1	7,5	0,3	0,3
2	8,5	0,4	0,4
3	10,0	0,5	0,5
4	13,0	0,6	0,6
5	16,0	0,75	0,75

TABELA 2.6 - Classificação dos produtos

Produto	Classe da densidade	Classe da razão (K)	Classe do coeficiente de atrito
Cevada	2	4	1
Areia seca	5	3	2
Farinha	1	2	1
Milho	2	4	1
Açúcar	3	4	3

### 2.3.2.4 Efeito da força de tração na parede do silo

O efeito da força de tração é proveniente das pressões horizontais obtidas através do carregamento e descarregamento do produto nas paredes do silo. Segundo ALMEYDA & GODOY (1996), existem dois problemas que ocorrem em silos carregados de grãos ou algum outro produto com o mesmo tamanho: o primeiro, a distribuição das pressões em silos verticais com imperfeição nas suas paredes e, a segunda, a distribuição de pressões na zona das imperfeições.

De acordo com a Figura 2.8, observa-se a distribuição da pressão horizontal em uma seção do silo, a qual mostra a força de tração nas paredes do silo provocada pela pressão horizontal.

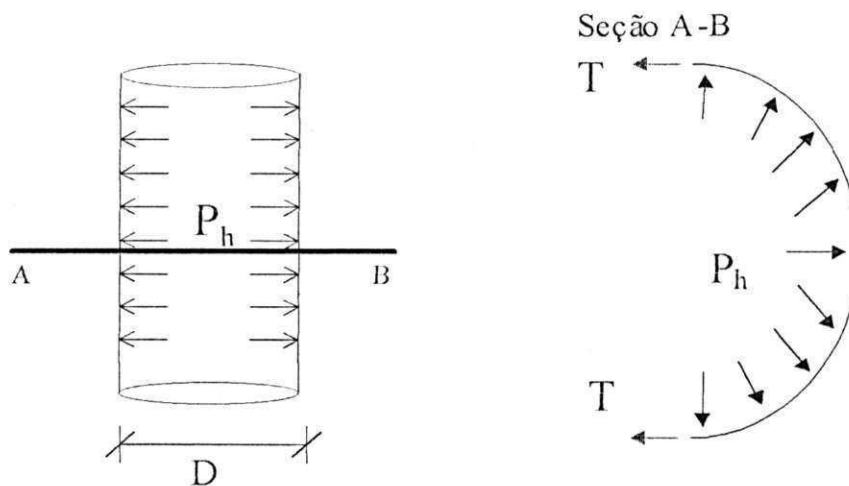


FIGURA 2.8 - Distribuição da pressão horizontal no silo e o efeito da força de tração

De acordo com RAVENET (1976), esta força de tração pode ser calculada como sendo:

$$T = \frac{P_h D}{2} \quad (12)$$

Onde:  $P_h$  - pressão horizontal de descarregamento, em Pa

$D$  - Diâmetro do silo, em metros

$T$  - Esforço de tração, em N por metro linear.



### **3. Material e Métodos**

Os blocos em estudos foram moldados em uma fábrica de pré-moldados localizada em Bodogongó e logo após foram transportados para o Laboratório de Solos I e III do Departamento de Engenharia Civil, onde foram realizados os ensaios de resistência à compressão e ao cisalhamento, e para o Laboratório de Construções Rurais e Ambiente do Departamento de Engenharia Agrícola onde foram realizados os ensaios de absorção, teor de umidade e o capeamento dos blocos para o ensaio de tração.

#### **3.1 Caracterização dos materiais utilizados na produção e assentamento dos blocos de concreto**

O bloco em estudo é composto por agregado miúdo (areia), cimento portland e água.

##### **3.1.1 Agregado miúdo (areia)**

A areia utilizada na produção dos blocos de concreto foi proveniente do leito do Rio Paraíba, de uso corrente nas obras de concreto da região.

Para caracterização da areia foram adotados os procedimentos recomendados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como a determinação da massa específica aparente pela NBR 9776; determinação da composição granulometria e o módulo de finura pela norma NBR 7217.

## 3.1.2 Cimento portland

O cimento Portland utilizado foi o CP II - Z - 32 em sacos de 50 kg. Observa-se nas Tabelas 3.1 e 3.2, a composição química do cimento Portland e suas propriedades físicas respectivamente.

TABELA 3.1 - Composição Química do Cimento Portland

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

Fonte : CIMEPAR - Companhia Paraibana de cimento Portland

TABELA 3.2 - Características físicas do cimento

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

Fonte : CIMEPAR - Companhia Paraibana de cimento Portland

### 3.1.3 Água

A água potável utilizada na pesquisa foi proveniente do açude de boqueirão fornecido pelo sistema de abastecimento de Campina Grande pela CAGEPA, com isto foi dispensado o controle de aceitação.

### 3.1.4 - Argamassa de assentamento

A argamassa foi preparada manualmente, utilizando-se uma superfície plana impermeável e resistente. O material foi misturado a seco e mexendo os materiais com uma pá até se obter uma mistura uniforme, logo após se adicionou água até obtenção de uma mistura homogênea e de ótima trabalhabilidade.

Os materiais utilizados foram o cimento (citado acima), areia, massame e água. Com uma dosagem de 1:1,2:0,8 (cimento areia e massame). Utilizaram-se 60% de areia para que a argamassa não perdesse resistência e aderência e os 40% de massame para que a argamassa tenha uma consistência e aderência melhor.

A areia utilizada no assentamento dos blocos foi diferente da areia para produção dos blocos, no entanto da mesma origem, na qual foi determinado segundo a NBR 7117/87 a granulometria e o módulo de finura e de acordo com a NBR 9776 a massa específica aparente.

## 3.2 Forma geométrica do bloco de concreto

O dimensionamento da fôrma foi feito da seguinte forma:

Inicialmente definiu-se a largura, altura e espessura da parede do bloco que são 100, 200 e 20 mm respectivamente e na lateral do bloco um encaixe de 10 mm para o rejunto,

estes valores estão de acordo com o padrão utilizado em blocos de concreto empregados na construção civil.

Como o objetivo foi propor blocos de concreto para serem utilizados em silos cilíndricos verticais sem a utilização de vigas circulares (viga anel) e coluna, idealizou-se um bloco que suas faces laterais formasse um ângulo de  $12^\circ$  em relação ao centro do silo. De tal forma que após sentar 30 unidades estes formassem um ângulo de  $360^\circ$ , assim fechando exatamente o perímetro. Outra hipótese adotada foi que a base do topo deverá possuir ângulos que funcionassem como uma cunha em relação aos blocos assentados acima e abaixo, para que suportasse o esforço de tração circunferencial devido a pressão horizontal dos grãos sobre as paredes do silo. O bloco de concreto proposto é indicado nas Figuras 3.1 e 3.2.

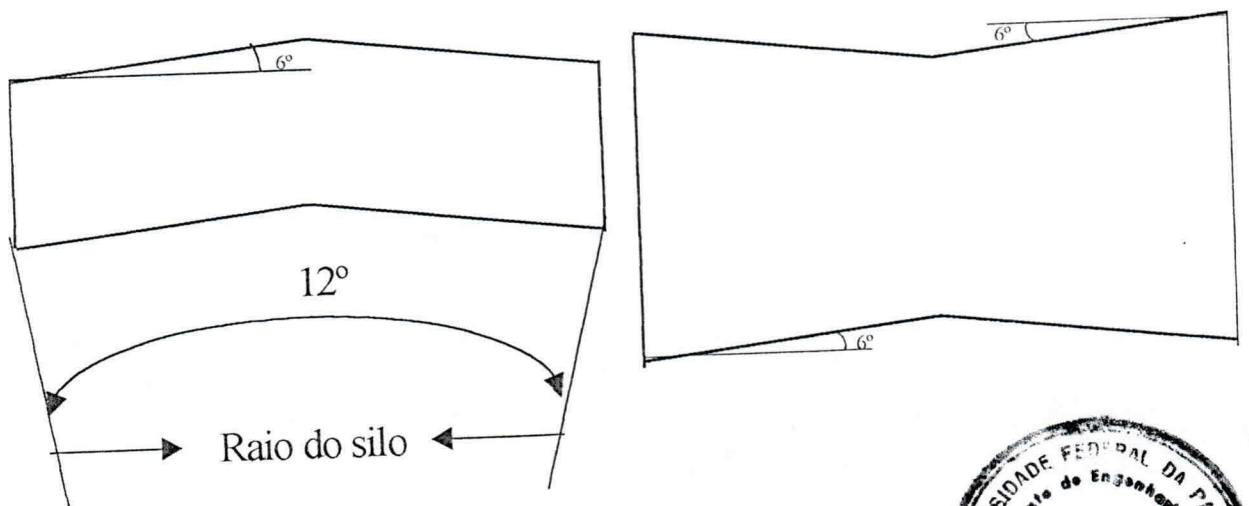


FIGURA 3.1 – Vista inferior e frontal da geometria do bloco





Tomou-se como base para o estudo um silo com diâmetro de 4m, como cada bloco possui um ângulo de  $12^\circ$  necessita-se de 30 blocos de concreto para fechar o perímetro.

Como o perímetro de uma circunferência é dado por  $\pi D$ , logo o perímetro do silo será aproximadamente de 12,57 m. Adotando um rejunto de 2,0 cm, ter-se-á 29 rejunto em cada perímetro totalizando 58 cm de rejunto.

Logo, o perímetro real ( $P_{\text{real}}$ ) é igual a 12,0 m. Dividindo pelo número de blocos utilizados encontrar-se-á o comprimento interno do bloco(L).

$$L = \frac{P_{\text{real}}}{n^\circ \text{ bloco}} \Rightarrow L = \frac{12}{30} \Rightarrow L = 0,40\text{m} \quad \text{ou} \quad L = 40\text{cm}$$

Observa-se na Figura 3.2 as dimensões do bloco utilizado no estudo:

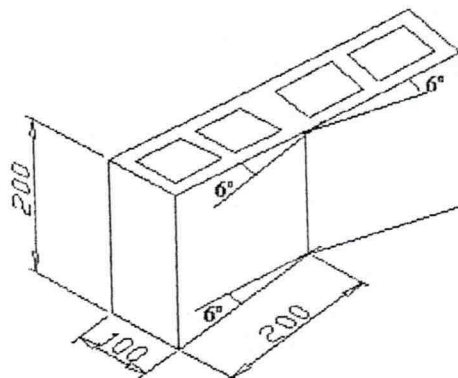


FIGURA 3.2 - Dimensões do bloco de concreto

### 3.3 Proporcionalidade dos materiais

#### 3.3.1 Dosagem

A dosagem é o estudo realizado para fixar as quantidades dos constituintes do concreto, ou seja, o traço, visando obter um concreto com boa resistência e conseqüentemente um bloco com ótima resistência.

Para o bloco em estudo adotou-se traços já estudados, ou seja, utilizados na construção civil 1:3, 1:4 e 1:6 em volumes, transformando-os para peso conforme indicado na Tabela 3.3.

TABELA 3.3 - Transformação do traço em volume para peso

Traço em volume	Massa específica aparente da areia ( $\text{kg/m}^3$ )	Massa específica unitária do cimento ( $\text{kg/m}^3$ )	Traço em Massa
1:3	1480	1166	1:3,81
1:4	1480	1166	1:5,01
1:6	1480	1166	1:7,62

### 3.3.2 Preparo da mistura

A mistura dos materiais foi feita por uma betoneira com capacidade de 120 litros (Figura 3.3) com a seguinte seqüência: colocava-se a areia e o cimento e misturava-os por 1 a 2 minutos e em seguida coloca-se água (Figura 3.4) até uma massa apropriada para a moldagem dos blocos.



FIGURA 3.3 - Mistura dos materiais

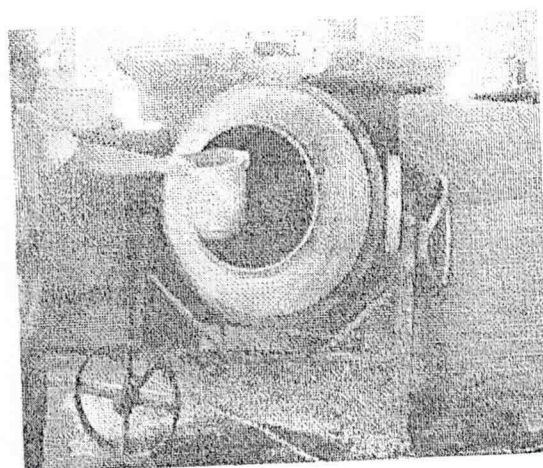


FIGURA 3.4 - Adicionando água na mistura

### 3.4 Moldagem e desmoldagem dos blocos de concreto

Após o processo de mistura dos componentes na betoneira, colocou-se a massa em uma mesa, e começava a moldagem dos blocos. Para garantir que os blocos obtivessem grau de compactação previsto e atendessem as características de projeto a massa foi colocada em três camadas e em cada camada era acomodada na fôrma, e ao final da terceira camada foi feito uma camada de regulação na face inferior do bloco.

Como o bloco em estudo apresenta ângulo em suas arestas não foi possível desmolda-los em uma superfície plana. Desta forma desenvolveu-se uma base de cimento com a mesma declividade do bloco em ambos os lados (Figura 3.5).

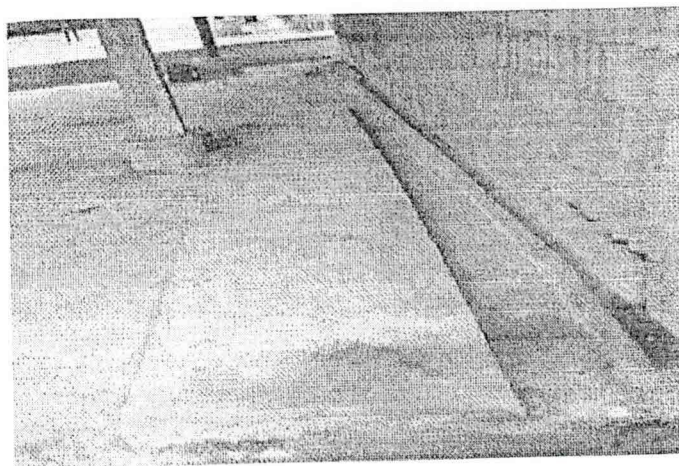
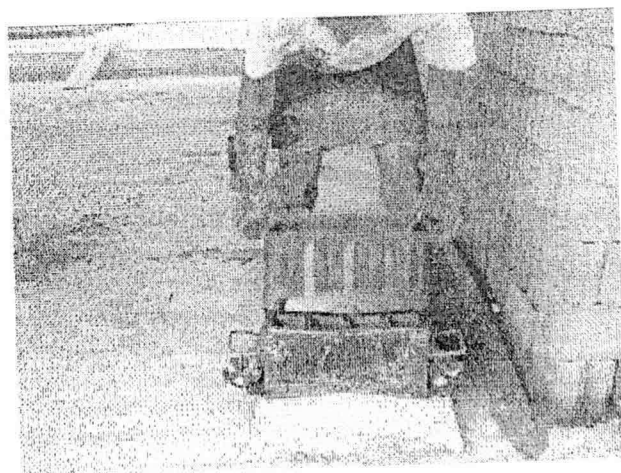


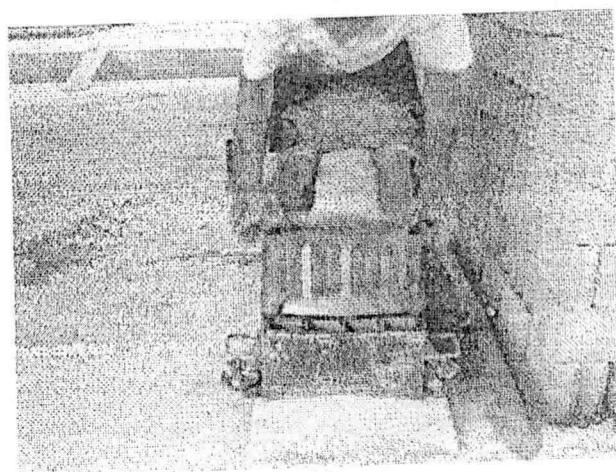
FIGURA 3.5 - Base para desmoldagem dos blocos de concreto

O bloco era moldado e logo em seguida era desmoldado sobre a base como esta indicada na Figura 3.9, sempre seguindo o centro do bloco para que não ocorra deformação na geometria (indicado na Figura 3.9). Após este processo os blocos passaram 24 horas para serem retirados da base e submetido ao processo de cura.

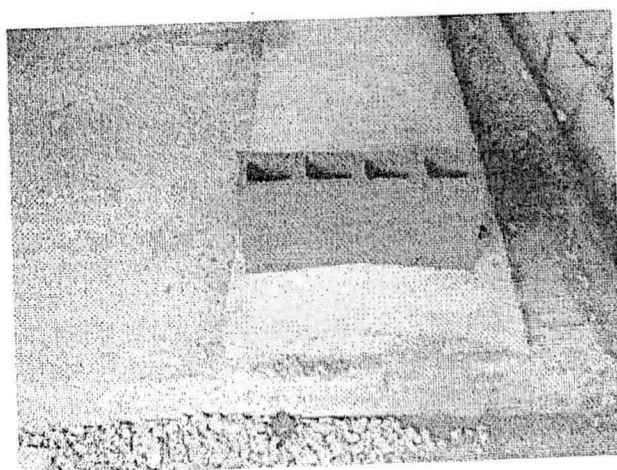




(a)



(b)



(c)



Figura 3.9 - Seqüência da desmoldagem dos blocos de concreto

### 3.5 Cura dos blocos de concreto

Foram realizados dois tipos de cura para os blocos: cura ao ar livre na sombra e cura submersa com a finalidade de avaliar melhor o comportamento do bloco nos dois processos.

#### 3.5.1 - Cura ao ar livre na sombra

A principal vantagem da cura ao ar livre na sombra do bloco é a economia de energia, combustível e eliminação de custos de aquisição, manutenção e operação das instalações.

Após a desmoldagem dos blocos, estes foram colocados em um local coberto e regados três ou quatro vezes ao dia, por um período de 7, 21 e 28 dias de cura.

#### 3.5.2 - Cura submersa

No processo de cura submersa os blocos passaram por duas etapas: cura inicial e de cura final

**& Cura inicial:** Depois de moldados os blocos foram imediatamente cobertos com uma lona plástica (Figura 3.7), por não ser possível levá-los para uma câmara úmida devido a sua geometria, e com isto evitando a perda de água durante as primeiras 24 horas da hidratação do cimento.



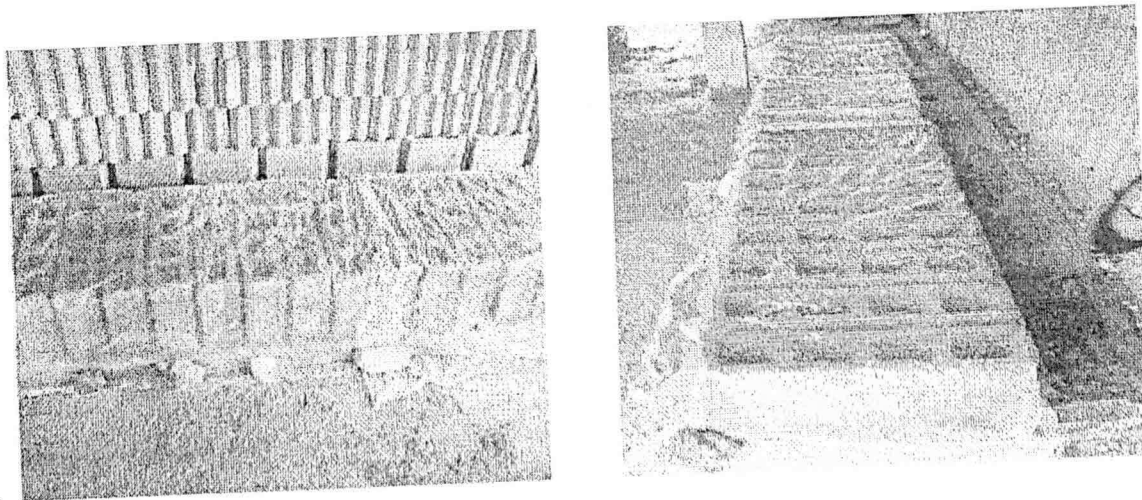


FIGURA 3.7 – Proteção nas primeiras idades dos blocos de concreto.

& **Cura final:** Os blocos foram imersos em água em tanques de cura (Figura 3.8), permanecendo o tempo pré-fixado para os ensaios (7, 21 e 28 dias).

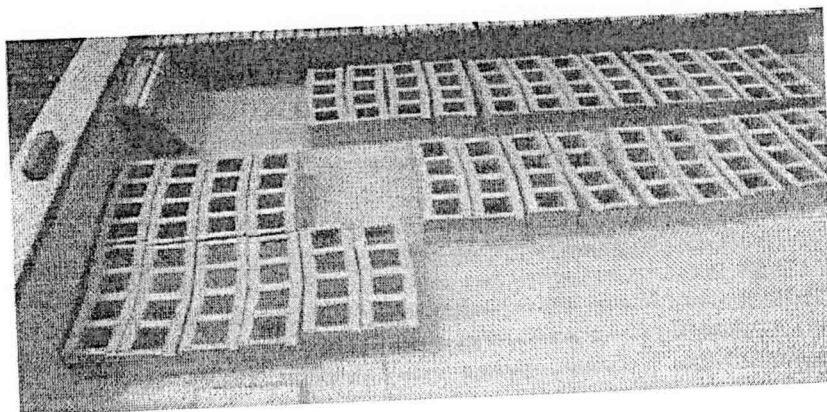


FIGURA 3.8 - Tanques de cura.

### 3.6 - Ensaio de teor de umidade e absorção

A metodologia para determinar o teor de umidade e absorção dos blocos foi seguida de acordo com as recomendações da norma MB - 3459 sendo determinada através de quatro amostras de blocos de concreto.

### Procedimento do ensaio

- Assim que os blocos chegavam ao laboratório os mesmos eram pesados, sendo a massa anotada como  $M_3$ ;
- Colocou-se a amostra em estufa a  $105^\circ\text{C}$  durante 24h e então se determinava a sua massa. Colocou-se novamente na estufa por 2h, pesava-se e repeti-se esta operação até que houvesse duas pesagens sucessivas que não tivesse diferença de massa superior a 0,5% em relação ao maior valor, anotando-se então a sua massa seca ( $M_1$ );
- Após resfriado naturalmente à temperatura ambiente, fazia-se a imersão do bloco em água à temperatura de  $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$  durante 24 horas;
- Deixava-se o bloco drenando por 1 minuto e removia-se a água superficial visível com um pano seco. Pesava-se e voltava-se a mergulhar o bloco em água;
- Repetia-se a operação anterior a cada 2 horas, até que obtivesse duas pesagens em que a diferença não ultrapassasse valores superiores em 0,5% em relação ao maior valor, anotando-se então a sua massa saturada ( $M_2$ ).

Com o procedimento descrito acima podemos encontrar o teor de umidade e a absorção do bloco através das seguintes formulas:

#### Teor de Umidade (TU)

$$TU = \frac{M_3 - M_1}{M_3} \times 100$$

Onde: TU – teor de umidade, em %

$M_1$  -- massa do bloco seco na estufa (Kg);

$M_3$  -- massa do bloco no estado úmido (Kg).

### Absorção de Água ( $A_b$ )

$$A_b = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

onde:  $A_b$  -- absorção de água, em %

$M_1$  -- massa do bloco seco na estufa (kg);

$M_2$  -- massa do bloco saturada em água com superfície seca (kg);

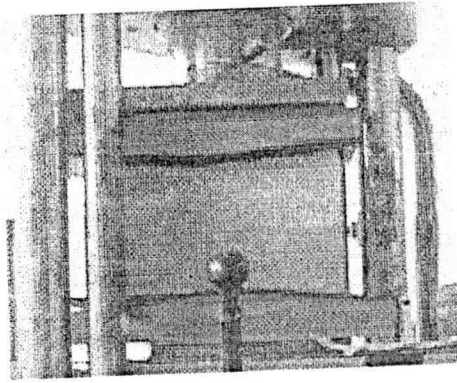
### 3.7 - Ensaio de compressão

O valor da resistência à compressão simples foi determinado diretamente nos blocos aos 7, 21 e 28 dias de idade de cura, obedecendo ao procedimento descrito pela NBR 7184 para blocos de concreto, conforme está apresentada a seguir.

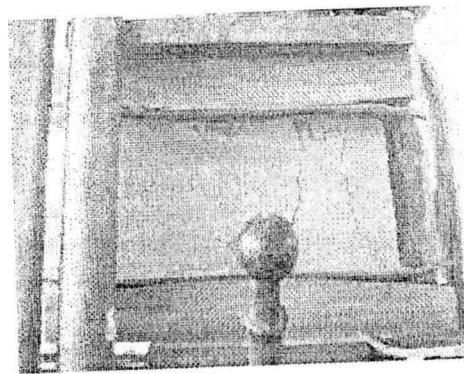
- Centralizou-se cuidadosamente o bloco na base da máquina de ensaio a compressão e fez com que a base rotulada ficasse em contato com o bloco uniformemente;
- Aplicava-se a carga de forma contínua e sem choques, com velocidade de carregamento de 0,3 MPa/s a 0,8 MPa/s até ocorrer o recuo do ponteiro de carga, que deve ser anotado como carga de ruptura do bloco;
- Obtém-se o valor da resistência à compressão simples dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do bloco, onde o resultado deve ser expresso com precisão de 0,1 MPa.

Na realização do ensaio foram colocadas duas bases de madeira com a finalidade de deixar a superfície do bloco plano e ao mesmo tempo evitando o capeamento do bloco. Entre as bases de madeira foi colocada uma lâmina de borracha e sobre a base superior uma placa de aço para fazer com que ocorresse uma distribuição uniforme da carga aplicada. (Figura 3.9).

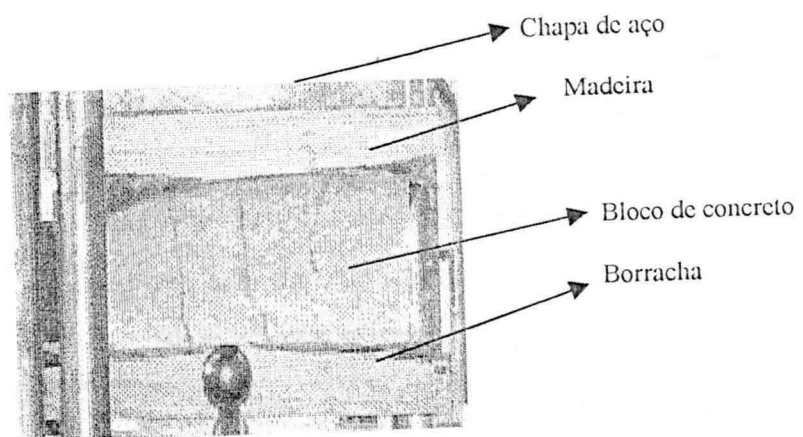




(a)



(b)



(c)

Figura 3.9 - Detalhamento do bloco sendo rompido

### 3.8 - Ensaio do cisalhamento

A resistência ao cisalhamento foi determinada através da moldagem de “prisma”, a qual era composta por três blocos. A resistência foi determinada para três tipos de traço 1:3, 1:4 e 1:6.

#### ⇒ Preparação das paredes

De início foi feito o capeamento na face lateral dos blocos (onde a mesma é inclinada em  $6^\circ$ ), para que não ocorresse excentricidade. Após o capeamento, as paredes foram montadas em prumo. A cura foi realizada durante 30 dias (Figura 3.10)

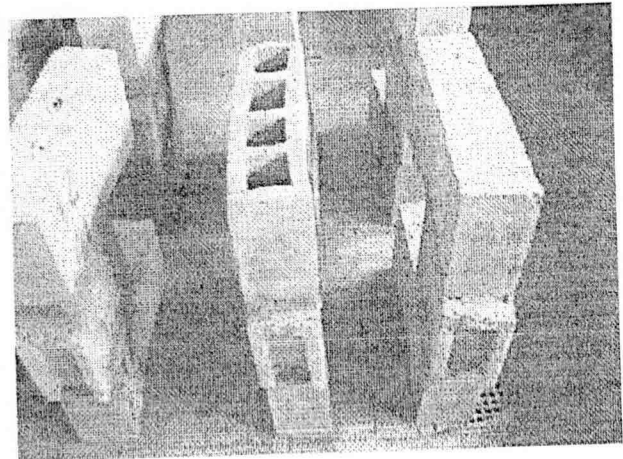
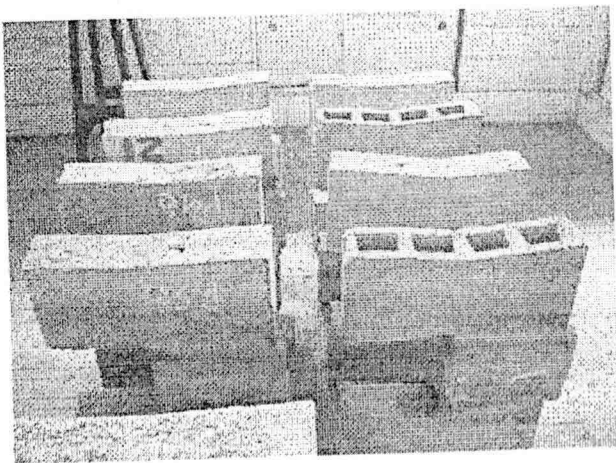


FIGURA 3.10 – Moldagem das paredes

#### ⇒ Realização do ensaio

Para os testes utilizou-se uma máquina de ensaio à compressão com capacidade de 10 tf, sendo necessário fazer algumas alterações conforme está apresentado a seguir.



- ⇒ Utilizou-se uma base de madeira e uma de aço para distribuir a carga uniformemente no bloco;
- ⇒ Utilizaram-se duas bases de madeira e um perfil “I” para funcionar como apoio (reação da carga que seria aplicada);
- ⇒ Utilizaram-se duas barras de aço e duas bases de madeira, com a finalidade de simular as condições reais de carga axial de compressão.
- ⇒ Na coleta de dados foram utilizadas duas células de carga com capacidade de 1 e 2tf, respectivamente conectadas ao sistema de aquisição de dados LINX 2160 e este a um computador (Figura 3.11).

Podemos visualizar melhor estas alterações na Figura 3.12

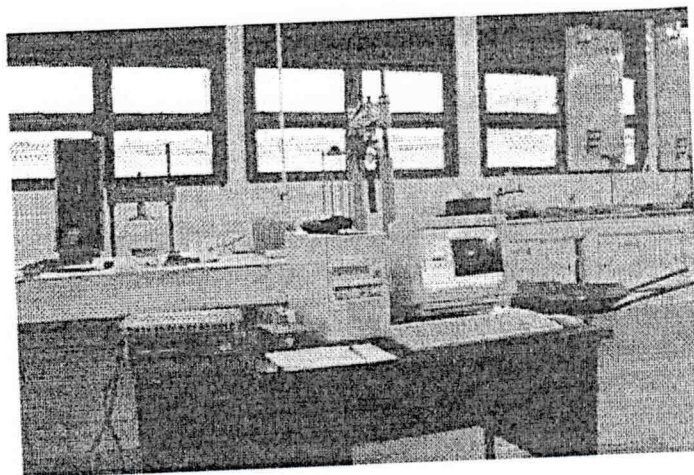


FIGURA 3.11 - Equipamentos utilizados na coleta de dados

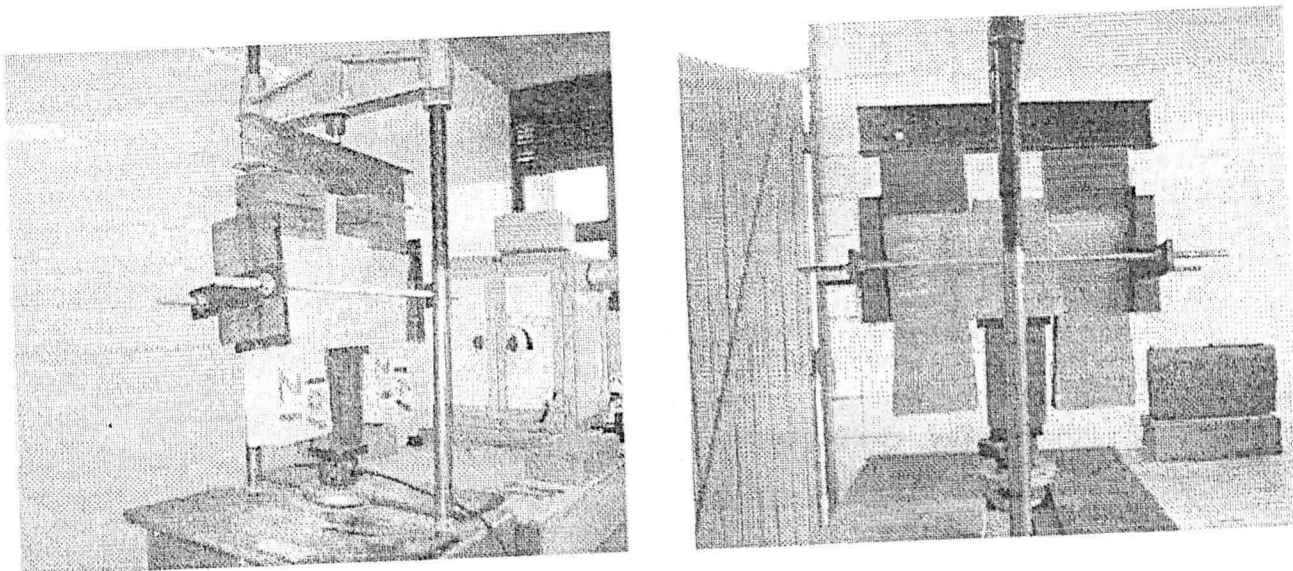


FIGURA 3.12 – Perfil do ensaio de cisalhamento

As células de carga foram calibradas e obtiveram-se as seguintes curvas de calibração:

$$\text{Célula de 1 tf} \quad y = 3,284x$$

$$\text{Célula de 2 tf} \quad y = 1,568x$$

Onde:  $y$  – carga de ruptura lida (célula de carga) em kgf;

$x$  - carga de ruptura real em kgf;

### 3.9 – Delineamento experimental e análise estatística

Fez-se a interpretação dos resultados obtidos dos ensaios de caracterização do bloco de concreto e aplicou-se a análise de variância pelo teste “F” e as médias dos fatores envolvidos foram comparáveis pelo teste de Tukey.

As análises da resistência à compressão e ao cisalhamento estão apresentadas a seguir:

### 3.9.1 -Ensaio de compressão

1. Analise 01 (Blocos de concreto com traço 1:3, 1:4 e 1:6 com dois tipos de cura (submersa e ao ar livre na sombra) e com três idades de rompimento).

Verificar a influência dos blocos de concreto com três tipos de traços (1:3, 1:4 e 1:6) e dois tipos de cura (submerso e ao ar livre na sombra).

Considerou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado com arranjo fatorial  $2 \times 3 \times 3$  (dois tipos de cura com três idades de rompimento e três traços) com seis repetições, sendo os tratamentos constituídos pela combinação dos níveis desses três fatores totalizando 18 tratamentos: T1 = submerso + 7dias + 1:3, T2 = submerso + 21dias + 1:3, T3 = submerso + 28dias + 1:3, T4 = submerso + 7dias + 1:4, T5 = submerso + 21dias + 1:4, T6 = submerso + 28dias + 1:4, T7 = submerso + 7dias + 1:6, T8 = submerso + 21dias + 1:6, T9 = submerso + 28dias + 1:6, T10 = ao ar livre e a sombra + 7dias + 1:3, T11 = ao ar livre e a sombra + 21dias + 1:3, T12 = ao ar livre e a sombra + 28dias + 1:3, T13 = ao ar livre e a sombra + 7dias + 1:4, T14 = ao ar livre e a sombra + 21dias + 1:4, T15 = ao ar livre e a sombra + 28dias + 1:4, T16 = ao ar livre e a sombra + 7dias + 1:6, T17 = ao ar livre e a sombra + 21dias + 1:6, T18 = ao ar livre e a sombra + 28dias + 1:6.

### 3.9.2 - Ensaio de cisalhamento

1. Analise 01 (Blocos de concreto com traço 1:3, 1:4 e 1:6 com dois tipos de cura (submersa e ao ar livre na sombra)).

Considerou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado com arranjo fatorial  $2 \times 3$  (dois tipos de cura com três traços) com nove repetições, sendo os tratamentos constituídos pela combinação dos níveis desses dois fatores totalizando 6 tratamentos: T1 = submerso + 1:3, T2 = submerso + 1:4, T3 = submerso + 1:6, T4 = ao ar livre na sombra +1:3, T5 = ao ar livre na sombra +1:4 e T6 = ao ar livre na sombra +1:6.



## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 - Caracterização dos materiais

#### 4.1.1 - Agregado Miúdo (Areia)



As principais propriedades da areia utilizada na produção de blocos e na argamassa de assentamento estão apresentadas nas Tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente.

TABELA 4.1 - Propriedades físicas da areia utilizada na produção de bloco

Propriedade	Resultado
Massa unitária em estado solto ( $\text{kg} / \text{m}^3$ )	1483
Dimensão máxima (mm)	2,00
Modulo de finura	2,94

TABELA 4.2 - Propriedades físicas da areia utilizada na argamassa de assentamento

Propriedade	Resultado
Massa unitária em estado solto ( $\text{kg} / \text{m}^3$ )	1460
Dimensão máxima (mm)	2,4
Modulo de finura	2,24

Os resultados dos ensaios de composição granulométrica da areia utilizada na produção dos blocos e na argamassa de assentamento são apresentados nas Tabelas 4.3 e 4.4 e suas curvas granulométrica nas Figuras 4.1 e 4.2, respectivamente. De acordo com a análise granulométrica estes agregados foram classificados como areia média e fina respectivamente, conforme a especificação da NBR 7211.

TABELA 4.3 - Composição granulométrica da areia utilizada na produção de blocos

Abertura da peneira	% Retida	% Retida acumulada
4,80	1,286	1,286
2,00	11,538	12,824
1,20	16,180	29,004
0,60	39,678	68,682
0,30	25,159	93,841
0,15	6,147	99,988

FIGURA 4.1 - Curva da granulométrica da areia utilizada na produção de blocos

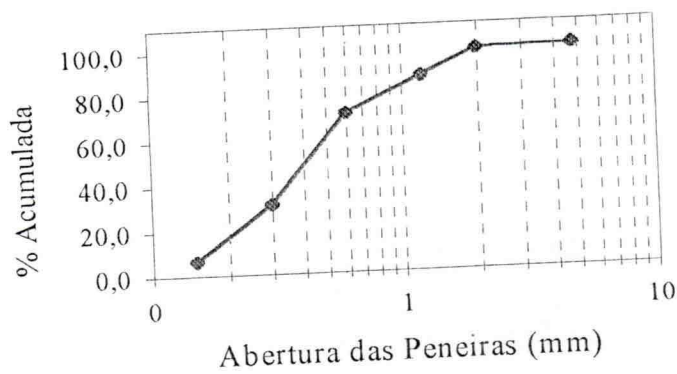


TABELA 4.4 - Composição granulométrica da areia utilizada na argamassa de assentamento

Abertura da Peneira	% Retida	% Retida acumulada
9,5	0,45	0,45
4,8	0,41	0,86
2,4	1,45	2,31
1,2	5,52	7,83
0,6	23,79	31,62
0,3	50,83	82,45
0,15	15,88	98,33

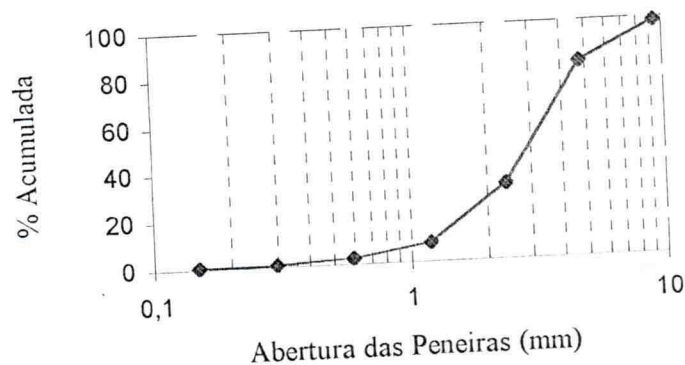


FIGURA 4.2 - Curva da granulometria da areia utilizada na argamassa de assentamento

#### 4.2 - Caracterização do concreto

Como a finalidade deste trabalho é o estudo das características do bloco de concreto, optou-se por moldar apenas blocos, além de que os traços aqui apresentados foram ajustados para permitir adequada moldagem dos blocos manualmente.

Os resultados obtidos nos ensaios para os blocos de concreto que destinaram a construção de silos verticais nas fazendas encontram-se nas Tabelas 4.5, 4.6 e 4.7, os valores médios da resistência à compressão, tração, absorção e teor de umidade.

TABELA 4.5 - Resistência média à compressão, absorção e teor de umidade dos blocos de concreto com traço de 1:3, 1:4 e 1:6 com cura submersa.

Traço	Aglomerante	Agregado	Resistência à Compressão (MPa)			Ab (%)	TU (%)
			$f_c$ 7 dias	$f_c$ 21 dias	$f_c$ 28 dias		
	Cimento	Miúdo					
1:3	1	3	2,11	2,7	3,23	10	2,6
1:4	1	4	1,46	1,83	2,50	10	2,2
1:6	1	6	0,82	1,14	1,24	11	1,6



TABELA 4.6 - Resistência média à compressão, absorção e teor de umidade dos blocos de concreto com traço de 1:3, 1:4 e 1:6 com cura ao ar livre na sombra.

Traço	Aglomerante	Agregado	Resistência à Compressão (MPa)			Ab (%)	TU (%)
			$f_c$ 7 dias	$f_c$ 21 dias	$f_c$ 28 dias		
	Cimento	Miúdo					
1:3	1	3	1,99	2,52	3,05	9	2,4
1:4	1	4	1,16	1,37	1,63	10	2,1
1:6	1	6	0,53	0,95	1,14	11	1,5

TABELA 4.7 - Resistência média ao cisalhamento dos blocos de concreto com traço de 1:3, 1:4 e 1:6 com cura submersa e ao ar livre na sombra.

Traço sugerido	Aglomerante	Agregado	Resistência ao cisalhamento (MPa)	
			Tipo de cura	
			Submerso	Ao ar livre na sombra
	Cimento	Miúdo		
1:3	1	3	0,58	0,49
1:4	1	4	0,53	0,45
1:6	1	6	0,46	0,38

Caso queira obter uma resistência do concreto maior nos traços analisados, pode-se trabalhar com misturas mais fluidas (aumentando o fator água/cimento, porém de forma limitada) ou então aplicar uma energia de compactação maior no bloco durante a moldagem ou ainda trabalhar com um traço mais rico em cimento, sendo com isso necessário uma avaliação dos aspectos econômicos.

#### 4.2.1 - Trabalhabilidade e consistência

Os traços utilizados foram preparados para terem condições de trabalhabilidade para moldagem dos blocos de forma manual, com a concepção de que a moldagem manual de blocos de concreto para a construção de silos verticais irá facilitar na execução dos silos nas fazendas.

Verificou que para o traço de 1:3, devido ao baixo fator água/cimento não se obteve uma boa trabalhabilidade da massa, pois durante a desmoldagem apresentou rompimento em suas arestas, mais sem comprometer a sua forma.

Os blocos moldados com o traço de 1:4 e 1:6 não ocorreu nenhuma falha, sendo os blocos de concreto moldados com traço de 1:6 apresentaram uma estética melhor.

De acordo com VIANA (2002), quando se analisa a trabalhabilidade de um concreto estar fazendo uma avaliação em relação às condições e natureza da obra, e ao método de execução adotado. Portanto, um determinado concreto pode apresentar trabalhável em uma situação e não ser adequado em outra.

#### 4.2.2 - Resistência à compressão

A resistência à compressão por ser uma das mais importantes propriedades do concreto é justificável analisar de maneira detalhada como os blocos se comportam com os traços e a cura utilizada.

4.2.2.1 - Blocos de concreto com traço 1:3, 1:4 e 1:6 com dois tipos de cura (submersa e ao ar livre na sombra) e com três idades de rompimento.

Analisando o efeito do traço e da cura nos blocos de concreto, verificou-se por meio de análise estatística utilizando o teste "F" que ocorreu diferença significativa na resistência à compressão para o fator cura, traço e idade ao nível de 1% de probabilidade e ao mesmo tempo significativo para a interação cura x traço e traço x idade, no entanto para o fator cura x idade não ocorreu diferença significativa. A comparação das médias para o fator cura, mostrou que o tratamento submerso foi superior significativamente ao tratamento ao ar

livre na sombra e diferem significativamente ao nível 1% de probabilidade pelo teste de Tukey. A comparação das médias para o fator traço, mostra que o traço 1:3 foi superior significativamente aos traços 1:4 e 1:6 e diferem significativamente ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey. A comparação para o fator idades, mostra que aos 28 dias a resistência foi superior as demais, no qual era previsto (os dados encontram-se no Anexo A).

▪ **Blocos de concreto confeccionado com traço 1:3 com cura submersa e ao ar livre na sombra**

Não foi observado acréscimo significativo na resistência à compressão dos blocos de concreto quando submetidos à cura submersa, conforme pode ser observado na Figura 4.3. Percebe-se, ainda, que a resistência à compressão nos dois tipos de cura aumenta em função do tempo, fato esse devido ao tipo de cimento utilizado. Desta forma recomenda-se utilizar a cura ao ar livre na sombra em blocos de concreto destinados à construção de silos verticais para o traço 1:3.

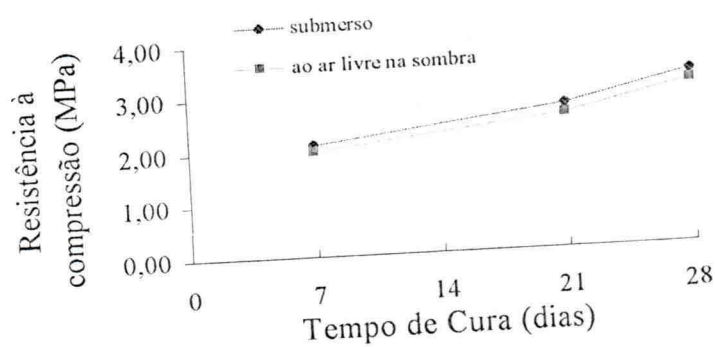


FIGURA 4.3 - Resistência média à compressão do bloco de concreto com traço 1:3 com cura submersa e ao ar livre na sombra.

- Blocos de concreto confeccionado com traço 1:4 com cura submersa e ao ar livre na sombra

De acordo com a Figura 4.4 observa-se que a resistência à compressão foi influenciada ao submeter os blocos de concreto a cura submersa. Percebe-se ainda que aos 28 dias de cura, a resistência à compressão dos blocos foi acrescida em 52% quando colocados na cura por submersão. De acordo com os resultados observados deve-se utilizar o sistema de cura submersa na confecção de blocos de concreto destinados à construção de silos verticais para o traço 1:4.

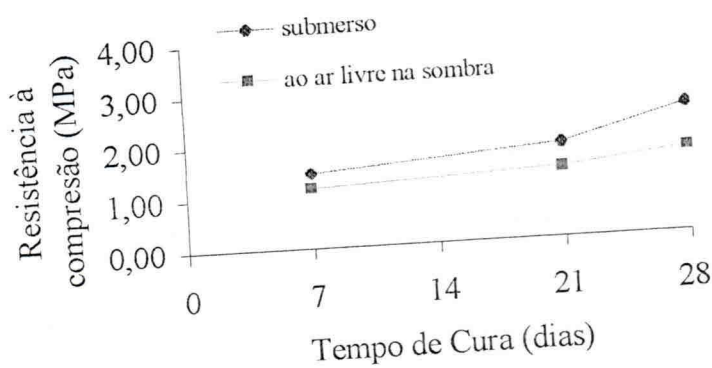


FIGURA 4.4 - Resistência média à compressão do bloco de concreto com traço 1:4 com cura submersa e ao ar livre na sombra.

- Blocos de concreto confeccionado com traço 1:6 com cura submersa e ao ar livre na sombra

Observa-se na Figura 4.5 que ocorreu um acréscimo na resistência à compressão em função do tempo de cura para o sistema ao ar livre na sombra, enquanto no sistema submerso fato observado após os 21 dias e em seguida a taxa de crescimento diminuiu.



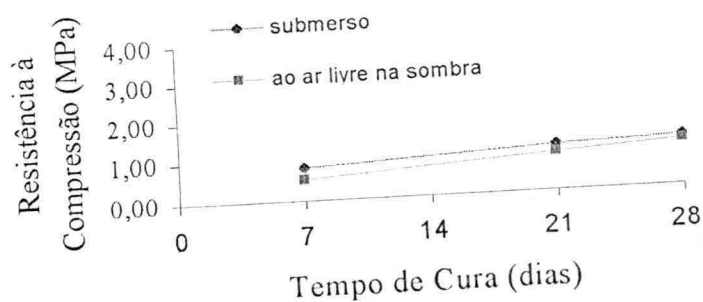


FIGURA 4.5 - Resistência média à compressão do bloco de concreto com traço 1:6 com cura submersa e ao ar livre na sombra.

#### 4.2.3 - Resistência ao cisalhamento

A resistência ao cisalhamento não é muito importante para o concreto, porém no bloco de concreto em estudo que se destina à construção de silos cilíndricos em fazendas é de grande importância, pois a pressão horizontal, devido à ação do produto armazenado, irá provocar uma força de tração nos blocos. A geometria proposta para os blocos tem a finalidade suportar o esforço de tração, logo é justificável analisar de maneira detalhada o comportamento desses traços e cura com relação à resistência ao cisalhamento, que poderão ser empregados na construção de silos em qualquer local do Brasil.

Através da análise de variância (teste F), verificou-se que para o nível de 1% e 5% de probabilidade houve uma diferença significativa na interação entre os traços e a cura (Tabela B1, B2, B3, B4 e B5 no anexo B).

4.2.3.1 - Blocos de concreto confeccionados com traço 1:3, 1:4 e 1:6 com dois tipos de cura (submersa e ao ar livre na sombra).

Analisando o efeito do traço e da cura nos blocos de concreto, verificou-se por meio de análise estatística utilizando o teste "F" que ocorreu diferença significativa na resistência ao cisalhamento para o fator traço e cura ao nível de 1% de probabilidade e na interação cura x traço uma diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade. A comparação das médias para o fator cura, mostrou que o tratamento submerso foi superior ao tratamento ao ar livre na sombra e difere significativamente ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey. Para o fator traço verificou que o traço de 1:3 obteve resistência ao cisalhamento superior aos demais e na interação, a cura submersa com o traço de 1:3 foi superior as demais combinações e difere significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey (os dados encontram-se no Anexo B).

- **Blocos de concreto confeccionado com traço 1:3 com cura submersa e ao ar livre na sombra**

A resistência ao cisalhamento foi influenciada ao submeter os blocos de concreto a cura submersa, como pode ser observado na Figura 4.6. Verifica-se ainda, um acréscimo de 18% nos blocos de concreto exposto a cura submersa em relação a cura natural. De acordo com os resultados obtidos a cura submersa é o sistema aconselhado para utilizar na produção de blocos de concreto com traço de 1:3.

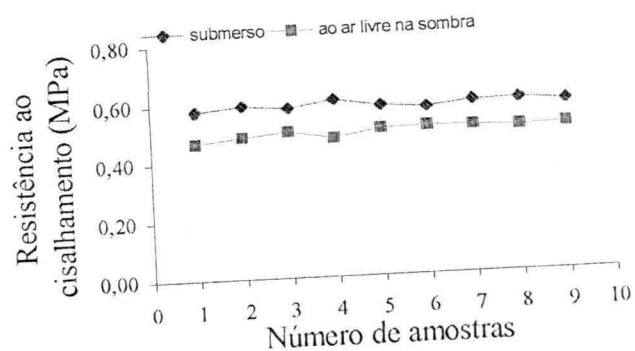


FIGURA 4.6 - Resistência ao cisalhamento do bloco de concreto com traço 1:3 com cura submersa e ao ar livre na sombra.

- **Blocos de concreto confeccionado com traço 1:4 com cura submersa e ao ar livre na sombra**

Verificou-se que a resistência ao cisalhamento foi influenciada ao submeter os blocos de concreto a cura submersa, como pode ser observado na Figura 4.7. Tem-se ainda, um acréscimo de 17% nos blocos de concreto exposto a cura submersa em relação à cura ao ar livre na sombra. De acordo com os resultados obtidos a cura submersa é o sistema aconselhado para utilizar na produção de blocos de concreto com traço de 1:4.

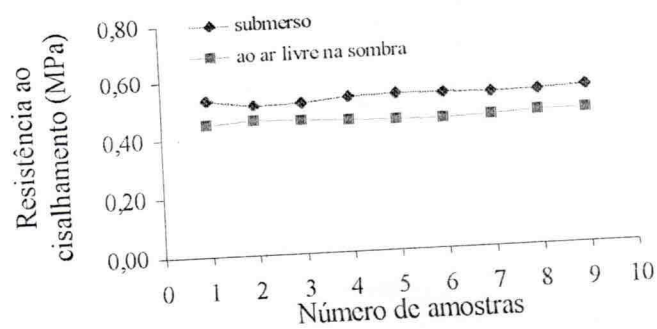


FIGURA 4.7 - Resistência ao cisalhamento do bloco de concreto com traço 1:4 com cura submersa e ao ar livre na sombra.



- Blocos de concreto confeccionado com traço 1:6 com cura submersa e ao ar livre na sombra

A resistência ao cisalhamento foi influenciada quando variou o tipo de cura, como pode ser observado na Figura 4.8. Verificou-se ainda, um acréscimo de 21% nos blocos de concreto exposto a cura submersa em relação à cura natural. De acordo com os resultados obtidos a cura submersa é o sistema aconselhado para utilizar na produção de blocos de concreto para a construção de silos cilíndricos com traço de 1:4.

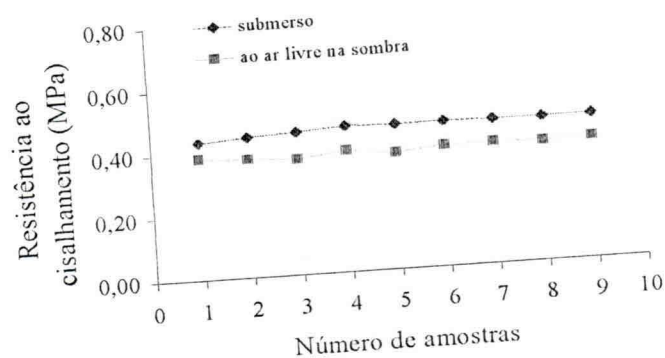


FIGURA 4.8 - Resistência ao cisalhamento do bloco de concreto com traço 1:6 com cura submersa e ao ar livre na sombra.

#### 4.2.4 - Absorção e teor de umidade por imersão

O valor encontrado para a absorção e teor de umidade de um componente pode variar conforme o método aplicado. No presente trabalho, optou-se em realizar o ensaio em blocos inteiros, conforme a MB-3459, no qual representa melhor a realidade quando comparado com ensaio feitos em amostras tipo corpo-de-prova ou em pedaços testemunhos.

Observa-se na Figura 4.9 uma tendência da absorção aumentar à medida que se diminui o traço (teor de cimento), percebe-se ainda que para os dois tipos de cura ao diminuir o teor de cimento obtém-se uma igualdade na absorção.

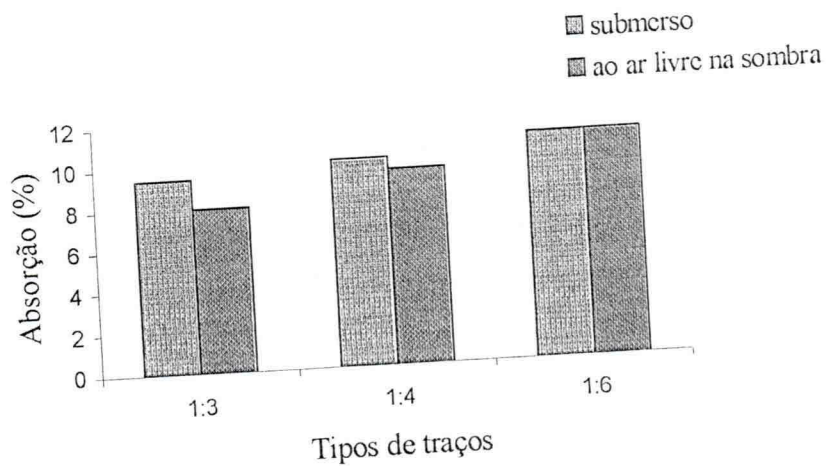


FIGURA 4.9 - Relação entre a absorção de água de blocos de concreto em função do traço e da cura

Observa-se na Figura 4.10, que o teor de umidade decrescer a partir do momento que aumenta o traço (teor de cimento), nota-se também que o tipo de cura influenciou, pois observou uma umidade maior quando a cura foi submersa, no entanto quando diminui o teor de cimento no caso do traço 1:6 a umidade é praticamente igual nos dois tipos de cura.

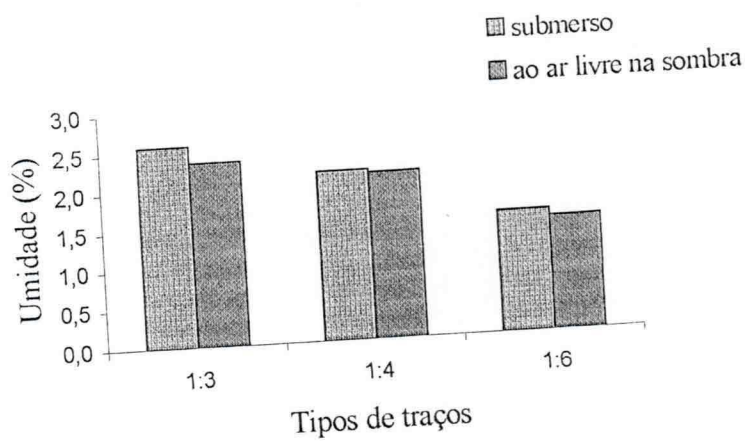


FIGURA 4.10 - Relação entre o teor de umidade versus traços para os dois tipos de cura utilizados

### 4.3 - Análise dos traços sugeridos para a moldagem de blocos de acordo com as normas

Para a geometria dos blocos em estudos não há normas específicas para a realização de ensaio de compressão, então, foi desenvolvido um sistema para obter a resistência à compressão dos blocos de concreto, conforme indicado no item 3.7, para que pudessem adotar as normas NBR 7173 e NBR 7171. Consta na tabela 4.8 os valores admissíveis de resistência à compressão e absorção de água e suas recomendações.

TABELA 4.8 - Valores admissíveis para resistência à compressão e absorção para blocos.

<b>Resistência à compressão</b>	NBR 7173	média > 2,5 MPa Individual > 2,0 MPa
	NBR 7171	média > 1,0 MPa
<b>Absorção de água</b>	NBR 7173	média ≤ 10% Individual ≤ 15%

O esforço de compressão das paredes de silos verticais deve ser calculado considerando o efeito da força de atrito do produto sobre a superfície da parede mais o peso próprio do material da parede.

Os blocos confeccionados com traço 1:3 e submetidos aos dois tipos de cura estudados e o traço 1:4 com cura submersa obtiveram resistência à compressão igual ou superior a recomendada pela a NBR 7173. Os blocos de concreto com traço de 1:4 e 1:6 que não atingiram a resistência exigida pela norma citada anteriormente, no entanto obteve resistência superior a norma dos blocos cerâmicos (NBR 7171). Dados apresentados na Tabela 4.9.

TABELA 4.9 - Traços sugeridos para fabricação dos blocos

Traços	Resistência à compressão (MPa)		Resistência ao cisalhamento (MPa)	
	Submerso	Ao ar livre na sombra	Submerso	Ao ar livre na sombra
1:3	3,23	3,05	0,58	0,49
1:4	2,50	1,63	0,53	0,45
1:6	1,24	1,14	0,46	0,38

Para o cálculo das pressões, utilizou-se a norma ISSO 11697 (Bases for Design of Structures – Loads Due to Bulk Materials)

A Figura 4.11 apresenta a distribuição da pressão na parede de um silo cilíndrico com 4m de altura e relação altura/diâmetro igual a 1.

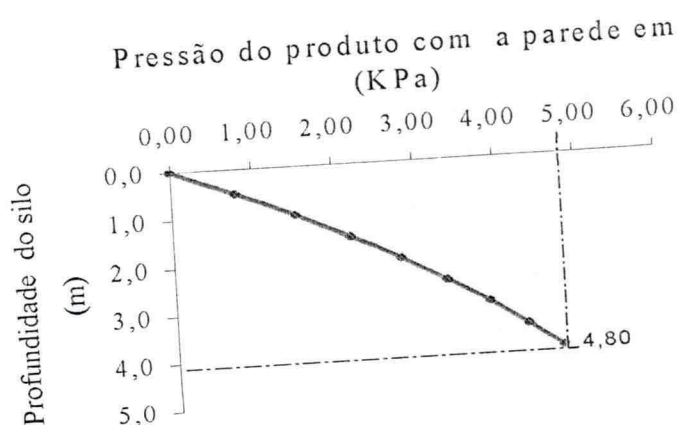


FIGURA 4.11 - Distribuição da pressão de atrito do produto com a parede do silo

Observa-se na Figura citada acima que a pressão máxima de atrito na parede atua na base do silo correspondendo a 4,8 KPa sendo a pressão devido ao peso próprio dos blocos igual a 45,5 KPa, desta forma a pressão total é igual a 50,3 KPa (dados calculados no item resistência à compressão no anexo C). Portanto, a resistência à compressão requerida no ponto crítico do silo as especificações citadas é bem inferior às obtidas nos blocos de concreto estudados, conforme se observa na Tabela 4.9. Desta forma, quanto a resistência à



compressão, todos os traços e tipos de cura estudados para os blocos de concreto podem ser utilizados em construções de silo cilíndricos com as dimensões utilizadas.

Para o cálculo do esforço de tração circunferencial (na parede dos silos) devido ao produto armazenado é necessário determinar a pressão horizontal máxima, conforme a equação 03.

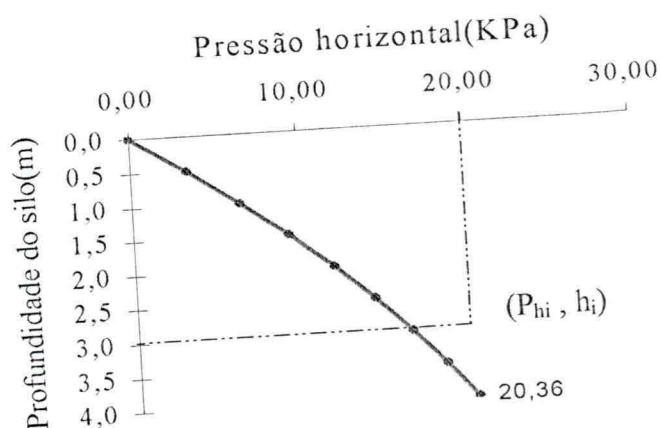


FIGURA 4.12 - Gráfico da pressão horizontal de descarregamento no silo

Observando-se a Figura 4.12, para cada profundidade, tem-se uma pressão horizontal ( $P_{hi}$ ,  $h_i$ ) que provocará um esforço de tração ( $T_i$ ). Desta forma a pressão horizontal máxima atuará na profundidade igual a 4,0 m, na base do silo, correspondendo a 20,36 KPa e utilizando a equação 12 encontra-se o esforço de tração igual 8,144 KN, que corresponde a uma tensão de tração de 407 KPa (anexo C).

De acordo com o que foi exposto acima pode observar que os traços estudados, com exceção do traço 1:6 com cura ao ar livre na sombra, todos possuem resistência ao cisalhamento superior ao esforço de tração que ocorrerá no silo. Conseqüentemente os blocos

de concreto com traços e cura poderão ser utilizados na execução de silo cilíndrico de 4 m de altura e 4m de diâmetro.

Como na construção de silos cilíndricos de alvenaria é necessária a colocação de viga circular de concreto armado na base e no topo, tornando este local mais rígido, logo esta técnica construtiva auxiliará o emprego de bloco de concreto com traço 1:6 com cura ao ar livre na sombra, pois neste a resistência ao cisalhamento é um pouco inferior a resistência exigida (de serviço), conforme dados apresentados na Tabela 4.9.

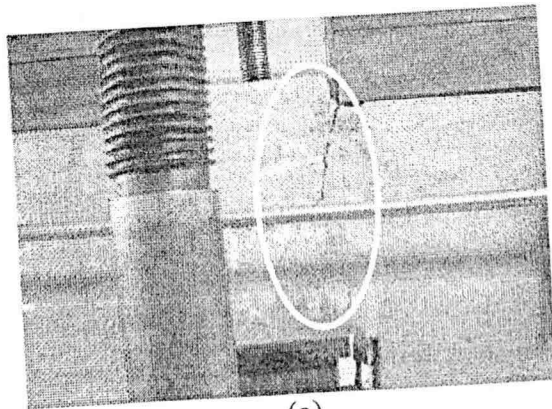
Para os blocos em estudo destinados a construção de silos cilíndricos para armazenamento de grãos foi necessária analisá-lo com relação à absorção, desta forma utilizou-se a NBR 7173, a qual recomenda que a média deve ser  $\leq 10\%$  e individual  $\leq 15\%$ . Na Tabela 4.10 consta os valores de absorção e teor de umidade adquiridos nos ensaios. Observa-se que os traços 1:3 e 1:4 nos dois tipos de cura atendem as exigências da referida norma, enquanto o traço 1:6 não alcançou o limite estabelecido. Portanto, para os blocos de concreto com traços 1:3 e 1:4 podem ser utilizados na construção de silos cilíndricos, no qual possuíram boa impermeabilidade e não provocarão danos aos grãos armazenados, devido à migração de umidade.

TABELA 4.10 – Valores médios da absorção e teor de umidade

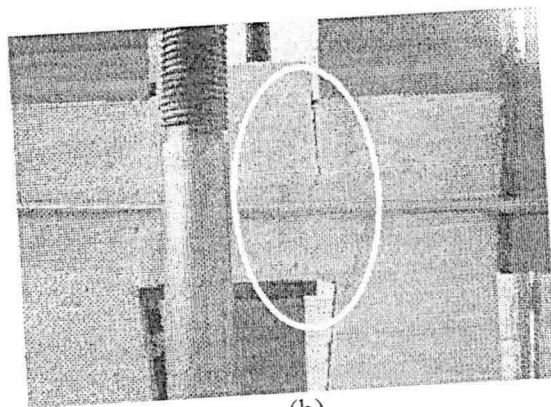
Traços	Absorção (%)	
	Submerso	Ao ar livre na sombra
1:3	10	9
1:4	10	10
1:6	11	11

Observou-se no ensaio do cisalhamento que as paredes com traço de 1:3 o rompimento ocorreu na argamassa de assentamento, em relação ao traço 1:4 em alguns casos ocorreu na argamassa e em outros no bloco, no entanto no traço de 1:6 o rompimento ocorreu diretamente no bloco conforme esta indicada na Figura 4.13.

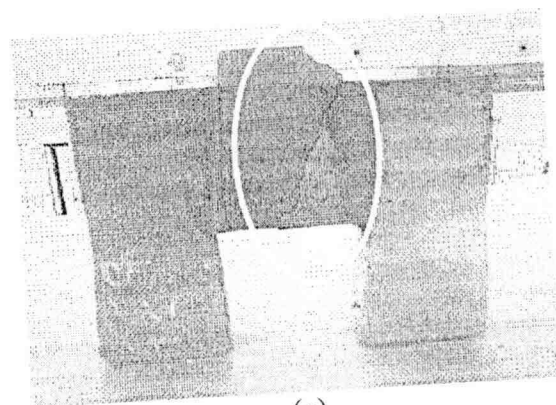




(a)



(b)



(c)



Figura 4.13 - Rompimento das paredes com traços 1:3, 1:4 e 1:6 no ensaio de cisalhamento

## 5. Conclusão

Nas condições do presente trabalho concluir-se:

→ A forma geométrica dos blocos de concreto estudados se mostrou adequada para construção de silos cilíndricos;

→ A inclinação de  $6^\circ$  na superfície da base e do topo dos blocos de concreto melhora a amarração da parede do corpo do silo, como também aumenta a resistência ao esforço de tração circunferencial;

→ Os traços 1:3 e 1:4 estudados para confecção de blocos de concreto, destinados à construção de silos, atenderam as recomendações da NBR 7173.

→ A cura submersa proporcionou melhor resistência ao cisalhamento e compressão para todos os traços estudados. Enquanto a cura natural obteve desempenho satisfatório para o traço de 1:3.

→ Os blocos de concreto confeccionados com traço 1:3, submetidos aos dois tipos de cura estudados atingiram a resistência à compressão superior a mínima exigida pela NBR 7173. Enquanto os blocos feitos com traço 1:4 e cura submersa alcançaram a resistência mínima recomendada pela norma citada acima.

→ Todos os traços e tipos de cura estudados em blocos de concreto para construção de silos cilíndricos, com dimensões propostas, obtiveram resistência superior a necessária em silos com as dimensões estudadas;

→ Para os traços 1:3 e 1:4 submetidos aos dois tipos de cura em blocos de concreto para construção de silos cilíndricos, não se verificou grandes variações na resistência ao cisalhamento;

→ De acordo com os traços e o tipos de cura estudados para a obtenção de blocos de concreto para construção de silos cilíndricos com dimensões propostas, obteve-se resistência ao cisalhamento superior (com exceção do traço 1:6 e cura ao ar livre na sombra) a tensão atuante nas paredes do silo provocado pelo esforço de tração.

### **Sugestões para futuras pesquisas:**

1. Construção de um protótipo para realização de análise de pressões e esforços de compressão e cisalhamento.
2. Realizar uma análise de viabilidade econômica para confecção dos blocos de concreto estudados na construção de silos cilíndricos em fazendas.
3. Estudar a possibilidade de incorporar resíduos de borracha aos traços estudados para a confecção de blocos de concreto.

## 6. Referências Bibliográficas

ACI 313-77, Recommended Practice for Design and Construction of Concrete Bins, Silos and Bunkers for Storing Granular Materials, American Concrete Institute, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Blocos de concreto pre-moldados (sem função estrutural)**, São Paulo, 1978.

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

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

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

\_\_\_\_\_. **Bloco cerâmico para alvenaria - NBR 7171**, Rio de Janeiro, 1992

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

\_\_\_\_\_. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural - Especificação - NBR 6136**, Rio de Janeiro, 1994.

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



- \_\_\_\_\_. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural** - NBR 7173, Rio de Janeiro, 1992.
- \_\_\_\_\_. **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica** - NBR NM 23, Rio de Janeiro, 2001.
- \_\_\_\_\_. **Cimento Portland - Determinação da finura pelo método da peneira n° 200** - NBR 11579, Rio de Janeiro, 1991.
- \_\_\_\_\_. **Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega** - NBR 11581, Rio de Janeiro, 1991.
- \_\_\_\_\_. **Cimento Portland - Análise química por complexometria** - NBR 9203, Rio de Janeiro, 1985.
- \_\_\_\_\_. **Ensaio de compressão de corpo-de-prova cilíndricos de concreto**. NBR 5739, Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. **Moldagem e cura de corpo-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto** - NBR 5738, Rio de Janeiro, 1994.
- BAUER, F.L.A. - **Materiais de construção 1**, Ed. Afiliada, vol.1 5ª edição. Rio de Janeiro, 1995, 435p.
- BROWN, C. J; NIELSEN, J. - **Silos: Fundamentals of Theory, Behaviour na Design**, E & FN Spon. London, 1998.
- CALIL Jr., C. - **Recomendações de Fluxo e de Cargas para o Projeto de Silos Verticais**. São Paulo: Dissertação (Mestrado) - EESC/USP, 1987, 198 p.

CALIL Jr., C; NASCIMENTO, J.W.B; ARAÚJO, E.C. - **Silos metálicos multicelulares**, São Paulo : EESC/USP - São Carlos, 1997, 175p.

CONCRETE. **Precast concrete round up**. P.24 - 8, Nov. 1987

DIN 1055 - **Lastannahment fur. Bauter, Biatt 6, Lasten in Silozellen** - Alemanha, 1987 12p.

GODOY, L. A. & ALMEYDA, S. D. **Stress redistributions due to circumferential imperfections and cracks in vertical silos**, Bulk solids. Vol. 16 Jul/Set, 1996.

GOMES, F.C. **Estudos teóricos e experimental das ações em silos horizontais**, São Paulo: Dissertação (doutorado) - EESC/USP, 2000, 205p.

HOLM, T. A. Block concrete is a structural material. **Journal of Testing and Evaluation**, v.4, n.4, p. 293 -9, Jul. 1976.

INTERNACIONAL STANDART. ISO - 11697. **Bases for desing of structures- Loads due to bulk materials**, 1995.

JENIKE A. J. **Storage and flow of silos**. University of Utah , Engineering experiment station, n. 123, 1964.

LAKATOS, E. M ; MARCONI, M.A. - **Metodologia do trabalho científico**. Ed. Atlas S.A, São Paulo, 2001.

MASSETO, L. T - **Estudo da resistência à compressão de alvenaria de vedação de componentes comercializados em São Paulo**, Tese (mestrado), USP, São Paulo, 2001.



MEDEIROS, J. S; DORNELLES, V.P e FRANCO - **Blocos de concreto para alvenaria estrutural: Avaliação de parâmetros básico de produção**, Florianópolis: 5<sup>th</sup> Internacional Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, 21 à 24 Agos., 1994.

MEDEIROS, J. S. - **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto**, São Paulo: Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da universidade de São Paulo, 1993, 449p.

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

PUGA, C.C - **Cálculo de alvenaria estrutural**, Curso de Mestrado do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT, 1998.

PENNINGTON, A. M. - **Concrete farm silos, granaries and tanks**. Sturry, near Canterbury, 1942. Cap. 8.

RAVENET, J.C - **Silos : Teoria, Investigacion, Construccion**. Barcelona, Espanha, 1977.

SABBATINI, F.H - **Processo construtivo de alvenaria estrutural silício - calcária**. Escola Politécnica de São Paulo - USP, São Paulo, 1984. 174p.

SAFARI, S.S ; HARRIS, E.C. - **Design and construction of silos and bunkers**. Van Nostrand Reinhold Company Inc. New York, 1985, 468p.

SILVA. L. C da. - **Blocos de concreto - Multibloco Ind. E Com. de Artefatos de Concreto Ltda**. Disponível em: [www.multibloco.com.br](http://www.multibloco.com.br) Acesso em: 15 de jun. 2001. Texto técnico.

THOMAZ, E; HELENE, P – **Qualidade de projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenaria de vedação em edifícios.** Boletim Técnico da Escola Politécnica de São Paulo, USP- DEC, São Paulo, 2000. Pg 8-9.

VIANA, A.J.B., **Utilização do resíduo da indústria de calçados (eva - etileno acetato de vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural,** Paraíba: Dissertação (Mestrado) - UFPB - Campina Grande- PB, 2002, 115p.

SELMO, S. M. de S; MIRANDA, L. F. R – **Desempenho de revestimento de argamassa com entulho reciclado,** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – DEC, São Paulo, 2001.

## ANEXO A

### Tabelas da Análise Estatística (Teste F e teste de Tukey)

TABELA A1 - Análise de variância da resistência à compressão para blocos de concreto com traço 1:3, 1:4 e 1:6 com dois tipos de cura (submersa e ao ar livre na sombra).

#### QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1(F1)	1	2,38522	2,38522	59,4316 **
Fator2(F2)	2	48,18686	24,09343	600,3262 **
Fator3(F3)	2	11,11251	5,55625	138,4429 **
Int. F1xF2	2	0,78364	0,39182	9,7628 **
Int. F1xF3	2	0,09997	0,04998	1,2454 ns
Int. F2xF3	4	1,14118	0,28530	7,1086 **
Int.F1x2x3	4	0,45838	0,11460	2,8553 *
Resíduo	90	3,61205	0,04013	
<b>Total</b>	<b>107</b>	<b>67,77982</b>		

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade  
 \* = significativo ao nível de 5% de probabilidade  
 ns = não significativo

Fator 1 = cura  
 Fator 2 = traço  
 Fator 3 = idade

#### MÉDIAS E MEDIDAS

##### Médias do fator1

1	1,88944 a
2	1,59222 b

DMS1 = 0,07688

##### Médias do fator2

1	2,59833 a
2	1,65528 b
3	0,96889 c

DMS2 = 0,11308

## ANEXO B

### Tabelas da Análise Estatística (Teste F e teste de Tukey)

Tabela B1 - Análise de variância da resistência ao cisalhamento para blocos de concreto com traço 1:3 com cura submersa e ao ar livre na sombra.

#### QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1(F1)	1	0,08402	0,08402	572,5837 **
Fator2(F2)	2	0,12981	0,06491	442,3216 **
Int. F1xF2	2	0,00101	0,00050	3,4369 *
Resíduo	48	0,00704	0,00015	
Total	53	0,22189		

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

Fator 1 = cura

Fator 2 = traço

#### MÉDIAS E MEDIDAS

##### Médias do fator1

1	0,52222 a
2	0,44333 b

DMS1 = 0,00664

##### Médias do fator2

1	0,53889 a
2	0,49000 b
3	0,41944 c

DMS2 = 0,00978

----- MÉDIAS DE INTERAÇÃO -----

Médias Fator 1 x Fator 2

Cura	Traço		
	1:3	1:4	1:6
Submersal	0,5844 aA	0,5267 aB	0,4556 aC
Ao ar livre	0,4933 bA	0,4533 bB	0,3833 bC

DMS para colunas = 0,0115    DMS para linhas = 0,0138  
Classific.c/letras minúsculas    Classific.c/letras maiúsculas

MG = 0,48278                      CV% = 2,50915

OBSERVAÇÃO: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

SIGLAS E ABREVIACÕES:

CCT = Centro de Ciências e Tecnologia  
UFPB = Universidade Federal da Paraíba  
F.V. = Fonte de variação    G.L. = Graus de liberdade  
G.L. = Graus de liberdade    S.Q. = Soma de quadrado  
S.Q. = Soma de quadrado    Q.M. = Quadrado médio  
F = Variável do teste F    MG = Média geral  
CV% = Coeficiente de variação em %  
DMS = Diferença mínima significativa

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA DO ASSISTAT:

Silva, F.de A.S.e. The ASSISTAT Software: statistical assistance.  
In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 6,  
Cancun, 1996. Anais... Cancun: American Society of Agricultural  
Engineers, 1996. p.294-298.



## ANEXO C

**C1** - Cálculo das pressões em um silo de blocos de concreto para o armazenamento de milho, utilizando a Norma ISO 11697 (1995).

### Características do silo

Produto : Milho  
 Altura do silo : 4m  
 Diâmetro do silo: 4m  
 Relação H/D : 1

Utilizando a norma ISO 11697 (1995), de acordo com o item. 2.3.2.3, tem-se os seguintes cálculos de pressões.

TABELA C1 - Pressões atuantes no silo

Z (m)	$\gamma R/\mu$	Phc(KPa)	Pvc(KPa)	PWc(KPa)	Phd(KPa)	PWd(KPa)
0,0	28,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	28,33	2,44	4,06	0,73	3,41	0,80
1,0	28,33	4,67	7,78	1,40	6,53	1,54
1,5	28,33	6,70	11,17	2,01	9,39	2,21
2,0	28,33	8,57	14,28	2,57	11,99	2,83
2,5	28,33	10,27	17,11	3,08	14,37	3,39
3,0	28,33	11,82	19,70	3,55	16,55	3,90
3,5	28,33	13,24	22,07	3,97	18,54	4,37
4,0	28,33	14,54	24,24	4,36	20,36	4,80

K1	0,60	<b>0,18</b>
$\mu$	0,30	
$\gamma$	8,5	KN/m <sup>3</sup>
R	1	m
C	1,4	

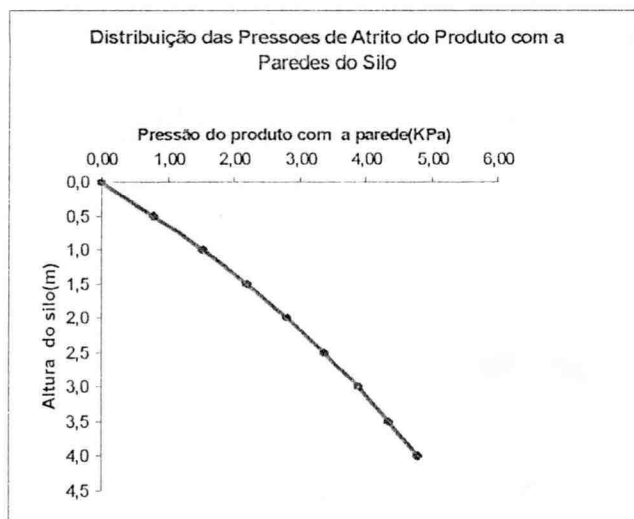
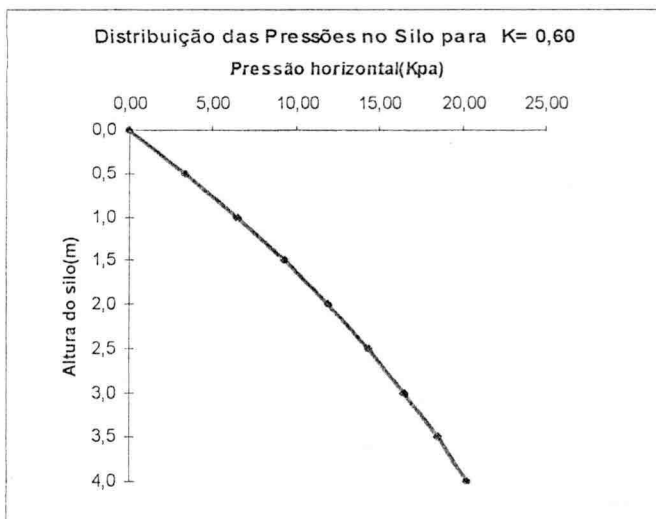


FIGURA ANEXO C - Representação gráfica da pressão horizontal de descarregamento (Phd) e a pressão do produto com a parede de descarregamento (Pw d).

## C2 - Cálculo das tensões de compressão e tração provocada pelo silo analiticamente

- Tensão de Compressão

A tensão de compressão no silo é provocado pelo peso próprio ( $P_p$ ) e pela pressão do produto com a parede ( $P_{wd}$ ).

$$\sigma_c = \sigma_{pp} + P_{wd}$$

Como o  $P_p = \gamma_{\text{bloco}} h_{\text{silo}}$ , temos:

- Massa específica do bloco ( $\gamma_{\text{bloco}}$ )

Massa do bloco	Área(m <sup>2</sup> )	Peso próprio(kgf)	Tensão(Pa)
9,035	0,04	180,70	45175,00
9,125	0,04	182,50	45625,00
9,370	0,04	187,40	46850,00
9,380	0,04	187,60	46900,00
9,115	0,04	182,30	45575,00
8,970	0,04	179,40	44850,00
9,095	0,04	181,90	45475,00
9,245	0,04	184,90	46225,00
8,880	0,04	177,60	44400,00
9,040	0,04	180,80	45200,00
9,030	0,04	180,60	45150,00
8,910	0,04	178,20	44550,00
	média	181,99	45497,92

Como a  $P_{wd} = 4800$  Pa (Tabela C1), teremos que  $\sigma_c = 50297,92$  Pa ou

seja  $\sigma_c = 0,05$  MPa.

- Tensão de tração

A tensão de tração no silo é provocado pela pressão horizontal de descarregamento ( $P_{hd}$ ).

$$\sigma_T = \frac{T}{A} \quad \text{onde} \quad T = \frac{P_{hd}D}{2}, \quad \text{logo temos:}$$

$$T = \frac{20360 \times 4 \times 0,2}{2} \Rightarrow T = 8144N, \text{ então substituindo na equação da}$$

tensão temos:

$$\sigma_T = \frac{8144}{0,2 \times 0,1} \Rightarrow \sigma_T = 407200 Pa \Rightarrow \sigma_T = 0,407 MPa$$

TABELA A4 - Análise de variância da resistência à compressão para blocos de concreto com traço 1:6 com cura submersa e ao ar livre na sombra

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	0,34027	0,34027	111,5280 **
Fator2 (F2)	2	1,71770	0,85885	281,4985 **
Int. F1x F2	2	0,04967	0,02484	8,1407 **
Resíduo	30	0,09153	0,00305	
Total	35	2,19918		

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias do Fator 1

1	1,06667 a
2	0,87222 b

DMS = 0,03763

Médias do Fator 2

1	0,67250 c
2	1,04417 b
3	1,19167 a

DMS = 0,05549

Média de Iteração

Fator 2

Fator 1	7 dias	21 dias	28 dias
1:4 (S)	0,8167 aC	1,1383 aB	1,2450 aA
1:4 (A)	0,5283 bC	0,9500 bB	1,1383 bA

DMS para colunas = 0,0652

DMS para linhas = 0,0785

Letras minúsculas

Letras Maiúsculas

MG = 0,96944

CV% = 5,69768

OBSERVAÇÃO: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si