

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
FACULDADE DE AGRONOMIA E VETERINÁRIA - FAV

**Resistência à compressão e absorção de água em
tijolos de solo cimento**

MARCELLO BASTOS PRESA

Brasília-DF

2011

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

MARCELLO BASTOS PRESA

**Resistência à compressão e absorção de água em
tijolos de solo cimento**

Brasília-DF

2011

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

Presa, Marcello Bastos.

Resistência à compressão e absorção de água em tijolos de solo cimento / Marcello Bastos Presa – Brasília. Universidade de Brasília – UnB, 2011. 41p.

Monografia de graduação – Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária.

Orientador: Prof. Samuel Martin

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

MARCELLO BASTOS PRESA

**Resistência à compressão e absorção de água em
tijolos de solo cimento**

Monografia de Graduação apresentada como requisito parcial ao alcance do título de Engenheiro Agrônomo, à Banca examinadora da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, sob a orientação do Prof. Samuel Martin.

Aprovado em 25 de julho de 2011

Banca Examinadora:

Prof. Samuel Martin

Prof. Antônio Carlos Félix

Wendy Fonseca Ataíde

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

DEDICATÓRIA

Dedico essa monografia a minha família fonte de apoio, persistência e perseverança com minha pessoa e em especialmente ao meu Pai, Mãe, Esposa e Meu Filho Davi.

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus Pai Criador e Salvador, pela vida.

Grato a minha família pelo apoio, sempre e sempre.

Grato especialmente ao Professor Dr. Antônio Felex por tudo que ele fez por mim ao longo desse período.

E sinto-me feliz por estar concluído essa fase da minha vida e iniciando outra.

Luz, Paz e Amor.

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

SUMÁRIO

	Página
Epígrafe	ii
Dedicatória	v
Agradecimentos	vi
Sumário	vii
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	ix
Resumo	x
Abstract	x
1) Introdução.....	1
2) Objetivos.....	3
3) Revisão Bibliográfica.....	4
3.1) Solo.....	4
3.1.1) Composição física.....	4
3.1.2) Estabilização dos solos.....	6
3.1.3) Caracterização do solo.....	7
3.2) Cimento Portland.....	8
3.2.1) Origem.....	8
3.2.2) Composição.....	8
3.3) Solo cimento - Tijolos.....	9
3.3.1) Histórico do uso.....	11
3.3.2) Normatização.....	12
3.3.3) Umidade de moldagem.....	13
3.3.4) Cura.....	14
3.3.5) Prensagem.....	15
4) Materiais e métodos.....	16
4.1) Material.....	16
4.2) Métodos.....	18
5) Resultados e discussões.....	25
5.1) Caracterização do solo.....	25
5.2) Verificação dimensional.....	31
5.3) Absorção de água.....	32
5.4) Resistência à compressão.....	36
6) Conclusões.....	40
7) Referências bibliográficas.....	41

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

Lista de Figuras

Figura 1 – Prensa Cirva Ram.....	11
Figura 2 – Teor de umidade x massa específica.....	14
Figura 3 – Mapa Geológico Simplificado da Região do Distrito Federal.....	17
Figura 4 - Triturador Jag 500 Saara.....	20
Figura 5 – Prensa hidráulica ecopremium 2600.....	20
Figura 6 – Capeamento dos tijolos.....	22
Figura 7 – Medição com régua dos tijolos capeados.....	22
Figura 8 – Ruptura dos corpos de prova.....	23
Figura 9 – Imersão dos tijolos na água.....	24
Figura 10 – Pesagem dos tijolos.....	24
Figura 11 - Limite de liquidez.....	26
Figura 12 – Curva granulométrica.....	30
Figura 13 – Variação dimensional – Altura.....	31
Figura 14 – Valores individuais de absorção de água para 7 dias.....	33
Figura 15 - Valores individuais de absorção de água para 28 dias.....	33
Figura 16 – Valores médios de absorção de água para 7 e 28 dias.....	34
Figura 17 – Resistência à compressão individual para corpos de prova 7 dias.....	36
Figura 18 - Resistência à compressão individual para corpos de prova 28 dias.....	37
Figura 19 – Resistência à compressão média para corpos de prova entre 7 e 28 dias.....	38

Lista de tabelas

Tabela 1 – Escala granulométrica do solo segundo ABNT (1894).....	4
Tabela 2 – Classe dos solos.....	5
Tabela 3 – Classificação dos tipos de cimento.....	8
Tabela 4 – Limites especificados para tijolos segundo ABNT.....	12
Tabela 5 – Programação de ensaio dos tijolos.....	21
Tabela 6 – Limite de liquidez.....	25
Tabela 7 – Limite de plasticidade.....	25
Tabela 8 – Umidade Higroscópica.....	27
Tabela 9 – Massa específica dos grãos.....	27
Tabela 10 – Peneiramento grosso.....	27
Tabela 11 – Peneiramento fino.....	28
Tabela 12 – Sedimentação.....	28
Tabela 13 - Porcentagem dos componentes físicos no solo.....	29
Tabela 14 – Resultado da pesagem dos tijolos com 7 dias.....	32
Tabela 15 – Resultado da pesagem dos tijolos com 28 dias.....	32
Tabela 16 – Medidas, área e valores de ruptura dos corpos de prova com 7 dias.....	35
Tabela 17 - Medidas, área e Valores de ruptura dos corpos de prova com 28 dias.....	36

Resumo

Neste trabalho por meio de experimentos realizados em laboratório foram analisados tijolos confeccionados com a mistura íntima de solo e cimento Portland a partir de uma prensa hidráulica modelo Ecopremium 2600 CH/MA da empresa Ecomáquinas, com a finalidade de se verificar a viabilidade de sua utilização em instalações rurais de toda natureza. Realizaram-se alguns ensaios com corpos de prova compostos dos próprios tijolos conforme a referida norma e foram submetidos a análises das características do solo utilizado bem como a resistência à compressão e absorção de água. As contribuições da pesquisa permitem integrar a tecnologia produtiva, o baixo custo e a necessidade de soluções viáveis para minimizar os impactos no meio rural e realizar um aproveitamento otimizado dos recursos locais na implementação de instalações de fazendas produtoras.

Palavras chaves: tijolo, solo cimento, instalações rurais.

Abstract

In this work by means of experiments carried out in a laboratory have been examined magnesia manufactured with the intimate mixture of soil and cement Portland from a hydraulic press model Ecopremium 2600 CH/MA of company Ecomáquinas, with the aim of the viability of their use in rural installations in the whole of nature. There have been some tests with bodies of evidence of the compound bricks themselves as the norm, and have been subjected to the analyses of the characteristics of the soil used and the resistance to the compression and absorption of water. The contributions of the research will allow integrating the technology production, the low-cost and the need to viable solutions in order to minimize the impact on the rural environment and to make an use maximize of local resources in the implementation of installations of farms producing.

Keywords: brick, soil cement, rural building

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

1.) Introdução

O tema desse trabalho diz respeito ao estudo da qualidade de tijolos de solo cimento com o objetivo de se obter um material com excelente desempenho quando aplicados nesses tipos de alvenarias. E também se verificar suas características no que diz respeito à resistência a compressão e absorção de água.

A construção feita com terra crua remota de tempos antigos na história da humanidade podendo se notar, a partir de obra que ainda hoje permanecem em pé, a eficiência e durabilidade deste material quando utilizado da maneira correta. No Brasil é comum encontrar esses tipos de edificações no meio rural e em regiões interioranas sendo mais freqüente o uso da terra no adobe, taipa de pilão e pau-a-pique. Além disso, a terra é uma material abundante que pode ser encontrado com facilidade e possui um custo reduzido quando comparado com outros materiais para a mesma finalidade.

Vestígios arqueológicos em todo o mundo comprovam a existência de várias cidades da antiguidade construídas com este material dentre as quais Jericó, na Palestina, cidade bíblica erguida há 10.000 anos sendo talvez a mais antiga; Catal Hoyuk, na Turquia, Akhet-Aton, no Egito e Chan Chan no Peru. Exemplos de bom emprego desta matéria-prima podem ser encontrados em arcos e domos, construídos em blocos de adobes, na Mesopotâmia (Turquia), Assíria, Egito e na antiga cidade Babilônia, no Iraque (TAVEIRA, 1987 e LOPES, 2002).

O emprego do solo-cimento em habitações no Brasil foi iniciado em 1948, com a construção das casas do Vale Florido, na Fazenda Inglesa em Petrópolis, Rio de Janeiro (ABCP, 1985). Desde 1930 eram feitas experiências com solo-cimento no país. No final da década de 50, a mistura de solo e cimento estava totalmente aprovada no Brasil, passando a ser difundida como nova alternativa para baratear construções. A primeira casa construída em solo-cimento no país teve como responsável o Instituto Del Cemento Portland Argentino – IPCA, uma vez que a Argentina divulgava a maneira correta de empregar o novo método construtivo (TAVEIRA, 1987).

O uso desse material e também a busca por novas tecnologias adaptadas se apóia no fato já comprovado da escassez de recursos e do inadequado descarte de resíduos da construção civil no meio ambiente. Por isso torna-se extremamente necessário vencer desafios que estão ligados a soluções construtivas como: uso de novas ferramentas tecnológicas, diminuição do desperdício, reciclagem de resíduos, emprego de materiais que em sua cadeia produtiva pouco agridam o meio ambiente, utilização de matérias primas que não prejudiquem a saúde por causa de químicos presentes em sua composição, entre outros.

Portanto, a utilização dos tijolos de solo cimento permeia todo esse contexto mencionado e contempla em diferentes esferas a adaptação tecnológica que tanto urge na sociedade atual. E isso se deve a infinidade de vantagens que apresenta os tijolos como material e técnica construtiva:

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

- Obra limpa sem resíduos gerados;
- Facilidade na fabricação dos tijolos;
- Mão de obra não especializada para a confecção dos tijolos;
- Uso predominante de um recurso abundante e barato, a terra;
- Rapidez e eficiência na alvenaria;
- Diminuição nos gastos com argamassa de assentamento;
- Facilidade na execução da alvenaria devido o sistema de encaixe macho-fêmea;
- Reduzido uso de caixarias para montagens de forma na elaboração das colunas e vigas de sustentação;
- Eficiência energética permitindo conforto termo-acústico para animais;

Pelo fato desse material se mostrar como excelente alternativa para construções tanto no meio rural quanto no meio urbano e pelas suas elevadas vantagens em seu emprego na alvenaria, torna-se cada vez mais necessário o estudo e pesquisa a respeito do mesmo, com o objetivo de melhorar as características e desempenho dos tijolos de solo cimento.

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

2) Objetivos

Com a realização deste trabalho, objetivou-se estudar as características do solo utilizado na fabricação de tijolos de solo cimento e também as características dos tijolos produzidos. Os objetivos específicos foram:

1. Determinar as características físicas da terra utilizada na fabricação dos tijolos de solo cimento.
2. Avaliar resistência à compressão e a absorção de água de tijolos de solo cimento com idades de sete e vinte e oito dias após sua fabricação.

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

3) Revisão Bibliográfica

3.1) Solo

Os solos são materiais que resultam do intemperismo das rochas, por desintegração mecânica ou decomposição química e biológica, sendo um material abundante e de fácil acesso para uso nas construções.

O solo como material de construção já demonstrou sua grande eficiência e importância na história da humanidade, devido às suas excelentes qualidades e, vem até hoje sofrendo modificações, adaptações técnicas e culturais com o objetivo de atender às necessidades humanas em cada região. No Brasil as construções com terra ainda hoje podem ser observadas no interior do país, sendo algumas destas um resultado de técnicas nativas unidas com as técnicas trazidas pelos colonizadores Portugueses e por Africanos no período pós-descobrimento.

3.1.1) Composição física do solo

Na composição de um solo estão presentes em proporções variadas os seguintes constituintes: Areia (muito grossa, grossa, média e a fina); Argila e Silte. Esses elementos podem ser verificados a partir da análise granulométrica do solo sendo classificados de acordo com os tamanhos de grãos seguindo a seguinte escala:

Tabela 1 - Escala granulométrica do solo segundo ABNT (1989).

Denominação	Tamanho (mm)
Argila	0,005
Silte	0,05
Areia fina	0,25
Areia média	0,84
Areia grossa	4,8
Pedregulho	76
Pedra	250
Matação	1000

As propriedades dos constituintes dos solos usados como material é um produto composto analogamente ao concreto, a argila faz a função do concreto e a areia faz o papel de esqueleto interno.

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

Além da análise granulométrica laboratorial é possível identificar a classe do solo a partir de métodos mais simples e acessíveis, ao qual normalmente são as condições encontradas no setor rural, porém com menor precisão, e isso pode ser verificado de acordo com a detecção visual, formação de fita e aperto com a mão quando seco e quando úmido. Abaixo segue uma tabela que demonstra bem esses métodos informais de classificação do solo, que podem perfeitamente ser usados pelo agricultor ou produtor rural para definição do solo a ser escolhido para confecção dos tijolos de solo cimento:

Tabela 2 - Classe de solos.

Classe do solo	Detecção visual das partículas e aspecto geral do solo	Apertando as mãos e soltando depois		Possibilidade de formar uma fita entre o polegar e outro dedo, quando está úmida
		Seco	Úmido	
Arenoso	Tem um aspecto granuloso podendo distinguir-se seus grãos de diferentes tamanhos quando está seca	Não toma forma e se destorroa quando desaparece a pressão.	Toma uma forma que se destorroa quando se toca ligeiramente	Não forma fita
Marga arenosa	Solo essencialmente granuloso, com suficiente silte e argila para dar-lhe alguma coesão. Predomina as características da areia	Toma uma forma que se destorroa com rapidez se é tocada ligeiramente	Toma uma forma que não se destorroa quando se manipula com cuidado	Não forma fita
Marga	Mescla uniforme de silte arenoso e argila. A graduação da areia é muito uniforme, entre os extremos grossos e finos e pastosos ao tato, mas pouco arenosa; é ligeiramente plástica	Toma uma forma que pode manipular com toda liberdade. Pulverizada é suave ao tato como farinha.	Toma uma forma que pode ser manipulada com toda liberdade sem se partir	Não forma fita
Marga argilosa	Contém uma quantidade de areia das graduações mais finas e somente uma pequena quantidade de argila. Mais da metade das partículas são siltes.	Toma uma forma que pode manipular-se sem que se rompa	Toma uma forma que pode ser manipulada com toda liberdade. Quando molhada se aglutina com afloramento de água.	Não forma fita, aparece quebrada; é suave ao tato e pode ser ligeiramente plástica.
Silte	Contém mais de 80% de partículas de limo com muito pouca areia fina e argila. Quando está seca pode ter forma de torrões.	Toma uma forma que pode manipular-se sem que se rompa	Toma uma forma que pode ser manipulada com toda liberdade. Quando molhada forma uma pasta com afloramento de água.	tende a forma fita com aparência quebrada; é suave ao tato.
Marga Argilosa	Solo de textura fina, que se quebra em torrões muito duros quando está seco. Tem mais argila que marga siltosa.	Toma uma forma que pode manipular-se sem que se rompa	Toma uma forma que pode ser manipulada com toda liberdade. Pode ser trabalhado até converter-se em uma massa densa.	Forma uma fita delgada, que se quebra com facilidade, suportando apenas seu próprio peso.
Argila	Solo de textura fina que se quebra em torrões muito duros quando está seco; é difícil converter em pó suave quando seco.	Toma uma forma que pode manipular-se sem que se rompa	Toma uma forma que pode ser manipulada com toda liberdade sem que se rompa	Forma uma fita larga, fina e flexível. Pode trabalhar-se até convertê-la em uma massa densa e compacta, de considerável plasticidade.

(EITEICHE, 1963, p.14)

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

3.1.2) Estabilização dos solos

O uso do solo apenas compactado apresenta boas qualidades isolantes e resistentes, contudo é vulnerável à umidade e sofre erosão devido à ação do intemperismo externo. Daí a necessidade de se estabilizar o solo para adequá-lo ao uso que se pretende. Existem diversos tipos de estabilização, dentre elas pode ser citada: Correção das características granulométricas; Compactação do solo; Adição de componentes que irão reagir quimicamente, como o cimento.

Denomina-se estabilização dos solos certos tratamentos à que são submetidos os solo naturais, para limitar as suas variações de volume, fazendo-os mais aptos para ser usados como material de construção (ENTEICHE, 1963).

O termo “estabilização do solo” corresponde, a qualquer processo, natural ou artificial, pelo qual um solo, sob o efeito de cargas aplicadas, se torna mais resistente à deformação e ao deslocamento, do que o solo primitivo.

O cimento é um dos principais estabilizadores minerais disponíveis para uso na estabilização do solo e ele atua protegendo o material da ação da água. Dependendo da distribuição granulométrica, a quantidade de cimento varia para a obtenção de uma boa resistência do material. Quando o solo tem maior conteúdo de argila maior deverá ser a quantidade do elemento estabilizante para atingir níveis adequados.

Segundo HOUBERT e GUILLARD (1989), os pontos a serem considerados, no caso de se precisar fazer uma estabilização, são:

- As características do solo a qual se pretende trabalhar;
- As qualidades que se deseja melhorar naquele solo;
- Os custos da obra;
- A técnica de execução que se pretende utilizar, pois existem métodos de estabilização que não se adaptam a certas técnicas construtivas.

Segundo FARIA (1995), a estabilização é muito útil, pois, através dela pode ser atingir objetivos diversos tais como:

- redução da porosidade, da permeabilidade e das variações de volume da massa de solo;
- melhoria da resistência mecânica (compressão, tração e cisalhamento);
- melhoria da coesão das partículas do solo entre si;
- aumento da resistência à abrasão pelo vento e pela chuva;
- baixa condutibilidade térmica.

Segundo ENTHEICHE (1963) a estabilização pode ser de 4 tipos diferentes:

Mecânica – rearranjo das partículas do solo com auxílio de equipamento, podendo ser citado a densificação por compressão (compactação).

Física – alteração na textura do solo a partir de mistura de grãos, adição de fibra ou tratamento químico.

Química – Introdução de produto químico alterando as características do solo através de reações entre partículas do próprio solo.

Mista – Combinação de alguns tipos de estabilização anterior.

3.1.3) Caracterização do solo

Limite de plasticidade

O Limite de plasticidade (LP) é o teor de umidade abaixo do qual o solo passa do estado plástico para o estado semi-sólido, ou seja ele perde a capacidade de ser moldado e passa a ficar quebradiço.

Deve-se observar que esta mudança de estado ocorre nos solos de forma gradual, em função da variação da umidade, portanto a determinação do limite de plasticidade precisa ser arbitrado, o que não diminui seu valor uma vez que os resultados são índices comparativos.

Limite de liquidez

O limite de liquidez é caracterizado pela quantidade de água que adicionada ao solo é capaz de causar perda de coesão de suas partículas.

ÍNDICE DE PLASTICIDADE

O índice de plasticidade dos solos deve ser obtido utilizando a expressão:

$$IP = LL - LP$$

onde:

IP = índice de plasticidade

LL = limite de liquidez, correspondente à norma NBR 6459 da ABNT;

LP = limite de plasticidade

3.2) Cimento Portland

É uma material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos complexos que, ao serem misturados com água, hidratam-se, resultando no endurecimento da massa, que pode então oferecer elevada resistência mecânica (TARTUCE, 1990).

3.2.1) Origem

Em 1786 o inglês John Smeaton criou uma mistura resistente através da calcinação de calcários argilosos e moles. Esse é o marco da criação do cimento artificial. Tempos depois, Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. Percebeu que obtinha uma mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto as pedras empregadas nas construções. A mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor no mesmo ano, com o nome de cimento Portland, que recebeu esse nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland.

3.2.2) Composição

O Cimento Portland é composto de clínquer e de adições que distinguem os diversos tipos existentes, conferindo diferentes propriedades mecânicas e químicas a cada um. As adições também são ou não utilizadas em função de suas distribuições geográficas, e em geral classificadas seguindo a tabela abaixo.

Tabela 3 - Classificação dos tipos de cimento.

Cimento Portland(ABNT)	Tipo	Clínquer + Gesso (%)	Escória siderúrgica (%)	Material pozolânico (%)	Calcário (%)
CP I	Comum	100	-	-	-
CP I - S	Comum	95-99	1-5	1-5	1-5
CP II - E	Composto	56-94	6-34	-	0-10
CP II - Z	Composto	76-94	-	6-14	0-10
CP II - F	Composto	90-94	-	-	6-10
CP III	Alto-forno	25-65	35-70	-	0-5
CP IV	Pozolânico	45-85	-	15-50	0-5
CP V - ARI	Alta resistência inicial	95-100	-	-	0-5

Benefícios do uso do cimento na estabilização do solo:

- 1- Reduzida troca volumétrica, por absorção ou perda de umidade;
- 2- Inalterabilidade ao submergi-lo à água;
- 3- Resistência à compressão similar e até superior a do tijolo comum de argila cozida.

Segundo a ABCP (1986) e TARTUCE (1990), os cimentos que podem ser utilizados devem atender a uma das seguintes especificações:

- Cimento Portland comum (CP), NBR 5732 – CP 25; CP 32; CP 40 (Mpa)
- Cimento Portland de Alto-Forno, NBR 5735 – AF 25; AF 32 (Mpa)
- Cimento Portland Pozolânico (POZ), NBR 5736 – POZ 25; POZ 32 (Mpa)
- Cimento Portland de Alta resistência inicial (ARI), NBR 5733.

3.3) Tijolos de solo-cimento

A mistura íntima entre o solo com o estabilizante químico cimento Portland e a água originam esse material conhecido como solo-cimento. Segundo Enteiche (1963), citado por Mercado (1990) e Grande (2003), trata-se de um processo físico-químico de estabilização e reorientação das partículas sólidas do solo com a deposição de substâncias cimentantes nos contatos intergranulares, alterando, portanto, a quantidade relativa de cada uma das três fases (sólida, líquida e gasosa) que constituem o solo.

Incorporado o cimento ao solo, suas partículas envolvem fisicamente os grânulos do solo formando agregados que aumentam de tamanho à medida que se processam a hidratação e cristalização do cimento.

A adição desse estabilizante no solo, unido com a estabilização mecânica através da compactação resulta em uma melhoria nas características iniciais do material em questão, proporcionando um aumento na resistência, menor permeabilidade, menor ação de agentes do intemperismo e permite que suporte cargas de trabalho superiores ao que poderia suportar o solo por si só.

Para se obter um bom produto na fabricação de Tijolos de solo-cimento se torna necessário conhecer bem o material de origem ao qual se está trabalhando, nesse caso, o solo. Ele deve ser de tão maneira que confira elevada resistência e pequena contração durante a secagem, fatores estes que dependem diretamente de uma mistura equilibrada de areia, silte e argila. Os solos mais indicados são os que predominam a fração areia em sua composição, pois necessitam de menores quantidades de cimento do que os argilosos e siltosos, entretanto, a presença da argila na composição do solo é necessária para dar a mistura coesão suficiente para permitir o manuseio dos tijolos após a prensagem.

O teor de cada componente granulométrico do solo é importante para a escolha do mais adequado ao fim desejado. Para os tijolos é conveniente que este apresente plasticidade e que seu limite de liquidez não seja excessivo, de preferência menor que 40-45%. Quando o solo não se enquadra nesta faixa, pode-se fazer uma correção granulométrica. Por exemplo, se o solo é muito argiloso, com limite de liquidez e índice de plasticidade altos, é comum misturá-lo com areia (BARBOSA, 2003).

A proporção ideal que deve ser utilizada varia entre 70-75% areia e 30-25% de argila e silte. A areia em um solo constitui sua estrutura e requer uma certa quantidade da argila para melhorar a ligação dos materiais no interior da massa (CINVA, 1963).

A possibilidade de utilização de solo do próprio local constitui-se em uma das grandes vantagens do solo-cimento, sendo que, na mistura solo-cimento, o solo é o elemento que entra em maior proporção, devendo ser tal que permita o uso da menor quantidade possível de cimento, que proporciona economia e torna seu uso viável em áreas com pouca disponibilidade de recursos.

Segundo a NBR 10832 (1989) o solo recomendado para a fabricação do tijolo de solo cimento são os que possuem as seguintes características:

Passando na peneira ABNT 4,8 mm (Nº4).....	100%
Passando na peneira ABNT 0,075 (Nº200).....	10 a 50%
Limite de liquidez.....	≤ 45%
Índice de plasticidade.....	≤18%

A NBR 8491 (ABNT, 1994) apresenta a seguinte definição para o tijolo de solo cimento: é aquele cujo volume não é inferior a 85% de seu volume total aparente e é constituído por uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos em proporções que permitam atender às exigências desta Norma.

3.3.1) Histórico do uso

Em 1932 nos Estados Unidos foram feitas as primeiras pesquisas referente ao uso da mistura de solo cimento compactada para uso em estradas com bons resultados obtidos, em seguida apareceram diversos trabalhos relacionados ao tema com êxito comprovado.

Porém, segundo RIGASSI (1985), as primeiras máquinas para comprimir a terra provavelmente datam do século 18. Na França, François Cointeraux, inventor e defensor fervoroso do *novo pise*, projetou o *Crecise*, um dispositivo derivado de uma prensa de uvas para produção de vinhos. E somente no início do século 20 foram projetadas as primeiras prensas mecânicas que dispunham de tampas pesadas que pressionavam a terra dentro de moldes. Mas o ponto decisivo no uso de prensas e no conseqüente uso dos BTCs em construções e propósitos arquitetônicos veio somente a partir de 1952, com a invenção da famosa prensa CINVA-RAM, projetada pelo engenheiro Raul Ramirez.



Figura 1 - Prensa CINVA-RAM
(fonte: Barbosa et al. 2002).

Em 1978 uma pesquisa pelo Banco Nacional de Habitação (BNH) com a finalidade de investigar o uso do solo-cimento em habitações, indetificando parâmetros relevantes a sua utilização. Também foram comparados os custos da alvenaria convencional com uma construída em solo-cimento, onde os custos foram reduzidos em aproximadamente em 60% para as construções de paredes e 30% do custo total da construção. Apresentou um consumo de 15% a menos de cimento e redução no consumo de energia em torno de 30%, considerando processo de produção e transporte de materiais bem como seu uso na obra (BNH, 1983).

3.3.2) Normatização

O tijolo de solo cimento é normatizado pela ABNT – Associação Brasileira de Normas e Técnicas.

No Brasil, foram publicadas as seguintes normas para tijolos e blocos de solo-cimento e também foram basicamente as utilizadas para a execução desse trabalho.

- NBR 8491 – Tijolo maciço de solo-cimento. Especificação
- NBR 8492 – Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Método de ensaio
- NBR 10832 – Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Procedimento
- NBR 10833 – Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com a utilização de prensa hidráulica. Procedimento
- NBR 10834 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Especificação
- NBR 10834 – Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural.
- NBR 10835 - Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural – Forma e dimensões.
- NBR 10836 - Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Determinação da resistência à compressão e da absorção de água.

Para qualificar o tijolo de solo-cimento, a norma NBR 10834 estabelece a verificação das suas características em amostras de pelo menos dez amostras, retiradas aleatoriamente em lotes de 10.000. Os critérios estabelecidos para o controle de qualidade, são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 4 – Limites especificados para tijolos de solo cimento segundo ABNT.

CARACTERÍSTICA	EXIGÊNCIA NBR 8491
Resistência à compressão	valor médio $\geq 2,0$ Mpa
	valor individual $\geq 1,7$ Mpa
Absorção de água	Valor médio $\leq 20\%$
	valor individual $\leq 22\%$

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

3.3.3) Umidade de moldagem

O solo quando misturado com o cimento deve possuir uma umidade ideal para que se obtenha a maior densificação possível no momento da compactação, já que a capacidade de prensagem está diretamente relacionada com a umidade da massa que será compactada. Existe uma quantidade ótima que se obtém o maior nível de prensagem. A partir de determinada quantidade de água adicionada, a eficiência da compactação pode ser prejudicada, visto que as próprias moléculas de água recebem a carga de pressão e impede o maior nível de resistência dos blocos.

A quantidade e a proporção de água no preparo e mistura de compósitos para produção de tijolos de solo cimento influenciam na trabalhabilidade, homogeneidade, coesão, absorção de água, porosidade, durabilidade e, principalmente, no desempenho físico-mecânico final do produto (BUSON 2009).

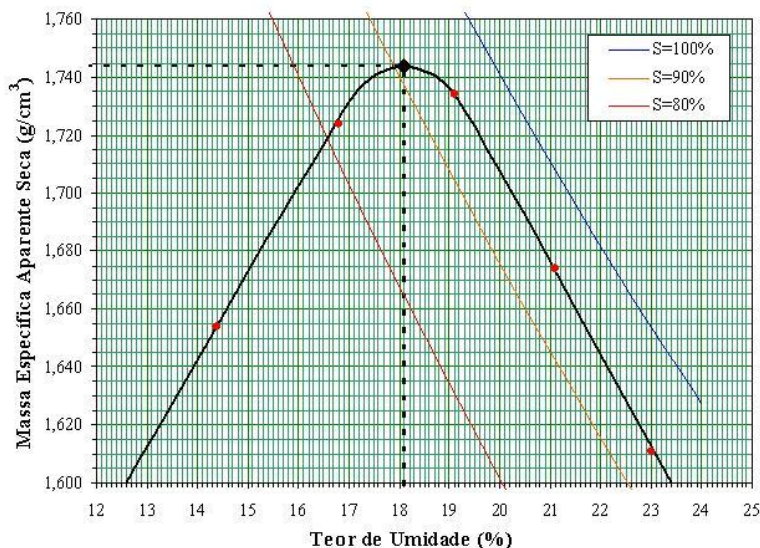
Segundo Rigassi (1985) as propriedades mudam de um solo para outro dependendo da natureza das frações das partículas que os compõem e a complexa forma como estas se misturam e se juntam.

O solo argiloso, por apresentar maior quantidade de finos, normalmente apresenta um valor de umidade ótima superior ao valor encontrado para o solo arenoso (MILANI, 2005).

Os ensaios de compactação visam à obtenção dos valores de umidade ótima e de massa específica aparente seca máxima. A umidade ótima é um parâmetro muito importante nos trabalhos realizados com solos, pois propicia melhores condições de trabalhabilidade e máxima compactação do material, proporcionando maiores valores de densidade, resistência e maior durabilidade. O teor de umidade é tão significativo quanto a porcentagem de cimento, pois exerce forte influência nas características de resistência e de absorção de água (SOUZA et al., 2008).

Segundo Rolim et al. (1999) os solos destinados à confecção dos blocos de solo cimento, após mistura com cimento e adequada homogeneização, devem receber água em quantidade necessária para elevar o seu teor de umidade até o da umidade ótima do ensaio de compactação e essa umidade é demonstrada no gráfico a seguir:

Figura 2 - Teor de umidade x Massa específica aparente.



3.3.4) Cura

Aproximadamente 6 horas depois de prensados, os tijolos devem ser molhados periodicamente para que ocorra a reatividade das partículas do solo com o cimento, que necessita de umidade durante um período de sete dias, afim de que se obtenha máxima resistência do conjunto. Os tijolos de terra quando estabilizados também precisam manter a umidade presente para evitar a saída rápida da água da mistura. Se ocorrer a evaporação, não vai haver tempo para ela reagir com todos os grãos de cimento e a qualidade do bloco diminui, perdendo resistência. Um método muito eficaz consiste em se cobrir os tijolos com uma lona plástica tão logo eles sejam fabricados. Assim impede-se a evaporação da água e garante a cura dos tijolos.

Conhecendo os diversos tipos de cura utilizados para a confecção de tijolos de solo-cimento, o CEPED (1999) realizou alguns ensaios, relacionando a resistência à compressão simples em corpos-de-prova submetidos a algumas condições de cura. Tais estudos comprovaram ainda haver uma redução na resistência da ordem de 40% quando não se usa qualquer processo que evite uma secagem rápida. Esta secagem rápida ocasiona a formação de trincas e, no caso da não ocorrência de um processo sistemático de molhagem, pode ocorrer ainda um “esfarelamento” superficial, tornando a peça de solo-cimento, vulnerável a qualquer ação mais rigorosa de chuvas e ventos. Se a rigidez da mistura for muito elevada e se as condições de cura forem inadequadas ocorre a formação de trincas transversais de retração na camada cimentada (SPECH *et al.*, 2002).

3.3.5) Prensagem

A Compactação de solo é definida como o método de aumentar mecanicamente a densidade do solo através da união das partículas solo e do estabilizante em questão. Em construção, esta é uma parte importante do processo de edificação.

O tipo de prensa é importante, pois, quanto maior a compactação imposta ao solo, melhor será o desempenho final do tijolo. No mercado encontram-se diversos tipos de prensas, manuais e hidráulicas. Estas últimas imprimem ao solo pressões muito maiores que as manuais, resultando em produtos muito resistentes (BARBOSA, 2003).

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

4) Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Geotécnia e no Laboratório de Ensaio de Materiais do departamento de engenharia civil da Universidade de Brasília - Unb. Para se alcançar os objetivos propostos na presente pesquisa, foram utilizados os materiais e observados os métodos descritos a seguir.

4.1) Materiais

- **Solo**

Foi utilizado um solo de composição granulométrica teoricamente conhecida, pelos indicativos de mapas e estudos realizados naquela região, que o caracterizava como um solo predominantemente arenoso, que é mais indicado para a confecção dos tijolos de solo cimento, sem necessidade de se corrigir. Entretanto não se conhecia com detalhes sua natureza granulométrica.

O solo em estudo foi coletado em uma área de escavação, onde estava sendo realizado obras, chamado setor Noroeste no bairro Asa Norte da cidade de Brasília-DF. Sendo este um solo enquadrado no Grupo Paranoá dentro da Unidade Ardósias, segundo mapa da figura 3.

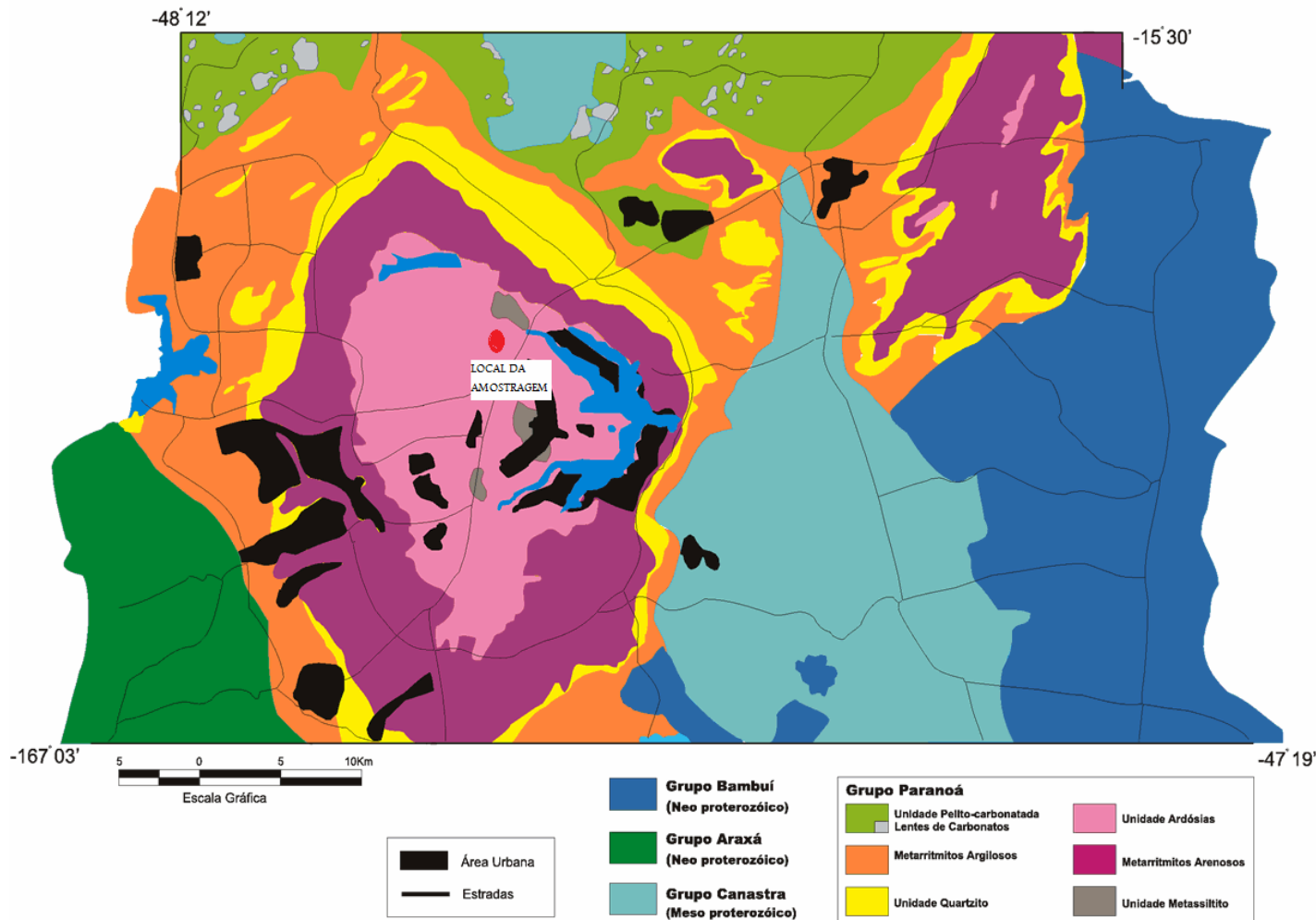


Figura 3 - Mapa Geológico Simplificado da Região do Distrito Federal com indicação do local da amostragem – Setor Noroeste. (Fonte: SEMARH)

- **Cimento**

Para a estabilização do solo foi utilizado o cimento CP II Z-32 (Cimento Portland com adição de pozolana cuja resistência normatizada do CP II é de no mínimo 32 mPa aos 28 dias) da marca Ciplan S/A, de modo que as características químicas, físicas e mecânicas seguiram a norma NBR 5736 (1991).

A escolha desse tipo de cimento foi devido sua facilidade de obtenção no mercado, e foi adquirido diretamente da fábrica da Ciplan S/A.

- **Água**

Em todo o experimento foi utilizada água do córrego Capão da Erva próximo à região da fábrica na região Administrativa do Itapuã.

- **Máquinas e ferramentas usada na fabricação**

Betoneira: é o equipamento utilizado para mistura de materiais através da movimentação mecânica impulsionada por um motor elétrico. Capacidade 400 litros.

Triturador: Máquina usada para destorroar a mistura de solo cimento, composto de um hélice metálica movida por um polia acoplada em um motor elétrico. Capacidade: Aproximadamente 1.4 M³/hora.

Prensa Hidráulica: Prensa que realiza compactação da mistura solo cimento dentro de uma forma, a partir de um pistão hidráulico com poder de prensagem de aproximadamente seis toneladas. Capacidade média de produção 2500 tijolos/dia.

Paquímetro digital: é um instrumento utilizado para medir a distância entre dois lados simetricamente opostos em um objeto. No caso específico usado para medir a altura dos tijolos com precisão.

4.2) Métodos

Para atender a normatização estabelecida pela ABNT em relação à fabricação, formato, dimensões, resistência à compressão e absorção de água, foram escolhidas as seguintes normas que serviram de parâmetro na condução dos ensaios;

NBR 8492 – Tijolos maciço de solo cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água.

NBR 10833 – Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado com a utilização de prensa hidráulica.

NBR 10834 – Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural.

NBR 10835 - Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural – Forma e dimensões.

NBR 10836 - Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Determinação da resistência à compressão e da absorção de água.

Para facilitar, adotou-se um esquema experimental que proporcionou a execução de quatro etapas básicas descritas a seguir:

Etapa 1 – Caracterização física do solo

Material Solo

No presente experimento foi utilizado o solo 100% passando pela peneira 4,8 mm (N ° 4), as amostras foram peneiradas e guardadas em local seguro para posterior uso.

Os ensaios aplicados ao solo foram:

- Determinação da massa específica dos sólidos do solo, de acordo com a norma NBR 6508 (ABNT, 1984b);
- Análise granulométrica, por sedimentação e peneiramento, de acordo com a norma NBR 7181 (ABNT, 1984a);
- Determinação dos limites de liquidez e de plasticidade dos solos, de acordo com as Normas NBR 6459 (ABNT, 1984c) e NBR 7180 (ABNT, 1984d), respectivamente e cálculo do Índice de plasticidade;

Etapa 2 – Fabricação dos Tijolos de solo cimento

De acordo com a bibliografia consultada escolheu-se um traço que se considera de boa resistência para fabricação dos tijolos de solo cimento sendo este 8:1, ou seja, oito partes de terra para uma parte de cimento. Após o traço estabelecido foi utilizado um carrinho de mão padronizado com o volume específico de 72 litros, colocando-se para confeccionar a massa 4 carrinho de terra para um saco de cimento, já que um saco de cimento possui em média 36 litros resultando, portanto no traço anteriormente já citado.

Esse material foi despejado dentro da betoneira para homogeneização do traço adicionando-se água até atingir umidade ideal de compactação em torno de 18 % do volume total. Com a mistura de solo e cimento pronta foi deixada por aproximadamente 10 minutos a mistura em repouso seguindo a recomendação encontrada na bibliografia que segundo, Pitta e Nascimento (1983) indica que se a mistura úmida solo + cimento for deixada solta por algum tempo antes de ser compactada, o solo – principalmente os mais finos – tem suas características de granulometria transformadas, produzindo melhores condições de compactação e influenciando nas propriedades físico-mecânicas finais dos tijolos.

Após o repouso a mistura foi passada em um triturador (figura 4) com o objetivo de quebrar os torrões ainda existentes e melhorar a mistura dos materiais. Na seqüência, foi colocada a massa já pronta no funil da prensa hidráulica (figura 5) e realizado a prensagem, que segundo o fabricante pode chegar até seis toneladas. Com os tijolos moldados retirou-se com cuidado e foi aferida a medida com paquímetro para verificar se a altura se mantém

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

padronizada durante o processo de fabricação, ao qual foi estabelecida 65 mm podendo sofrer uma variação máxima de 1 mm entre tijolos e entre os dois lados do mesmo tijolo. Após a medida o tijolo é empilhado em paletes de madeira na altura máxima de 3 fiadas por dia.



Figura 4 - Triturador modelo Jag 500 da Saara

Durante sete dias esses tijolos foram submetidos a molhação abundante e coberto com lona para evitar a perda de umidade e favorecer a cura do cimento. Após esse período foram retirados aleatoriamente do lote fabricado 18 tijolos para submetê-los ao ensaio de resistência a compressão e absorção de água. E, passados o período de 28 dias foi retirado da mesma forma e a mesma quantidade para realização dos mesmos ensaios. Isso foi feito para se avaliar a diferença da resistência dos tijolos ao longo do tempo e o incremento nessa resistência.



Figura 5 – Prensa hidráulica Ecopremium 2600

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

Etapa 3 – Método para escolha dos tijolos, ensaios e procedimento.

Os tijolos foram escolhidos aleatoriamente de um lote de 10.000 unidades, onde foram retirados um total de 18 amostras para a execução dos ensaios sendo, 6 amostras para a verificação dimensional, 6 amostras para o ensaio de resistência à compressão e 6 amostras para o ensaio de absorção de água. Esse método para a escolha dos tijolos seguiu a NBR 10834. Os detalhes podem ser verificados na tabela 5.

ENSAIO	PROCEDIMENTO	IDADE DOS TIJOLOS (DIAS)	Nº DE TIJOLOS A CADA ENSAIO
VERIFICAÇÃO DIMENSIONAL	MEDIDA INDIVIDUAL	7	6
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	NBR 10836 e NBR 8492	7 E 28	6
ABSORÇÃO DE ÁGUA	NBR 10836 e NBR 8492	7 E 28	6

Tabela 5 –Ensaio dos tijolos produzidos.

De acordo com a programação apresentada, os ensaios descritos acima foram realizados com amostras de diferentes idades pós-fabricação com o objetivo de avaliar o ganho de resistência ao longo do tempo e a diferença na capacidade de absorção de água, tendo a finalidade de se definir com qual idade o tijolo já pode ser utilizado na alvenaria, sem que isso comprometa a qualidade da obra.

Etapa 4 – Ensaio de resistência à compressão e absorção de água.

Resistência a Compressão

Foram preparados seis corpos-de-prova da seguinte maneira:

- cortou-se o tijolo ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão;
- foi superposto, por suas faces maiores, as duas metades obtidas e as superfícies cortadas invertidas ligando-as com uma camada fina de pasta de cimento Portland, pré-contraída, onde foi deixada em repouso de aproximadamente 30 min.
- Foi aguardando aproximadamente 24 h antes de proceder à etapa seguinte;

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

d) Foi coberta a superfície do tijolo com uma camada de pasta de cimento pré-contraída. Logo que a pasta começou a endurecer, retiro-se o corpo-de-prova do sistema de guias e com o auxílio de uma placa de vidro foram feitos movimentos circulares sobre a camada de pasta, com a finalidade de se dar um acabamento final na superfície e retirou-se o excesso de pasta.



Figura 6 – Capeamento dos tijolos

e) após aproximadamente 24 h, foi passada a pasta de cimento regularizando a superfície de trabalho oposta.

f) As dimensões das faces de trabalho foram determinadas com uma régua de precisão de 1 mm.



Figura 7 – Medição com régua dos tijolos capeados

g) Os corpos-de-prova foram colocado diretamente sobre o prato inferior da máquina de ensaio de compressão, ficando centralizado em relação a ele.

h) aplicou-se a carga de maneira uniforme e anotaram-se os resultados dados em kgf.

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

i) a carga foi elevada até ocorrer a ruptura do corpo-de-prova.



Figura 8 – Ruptura dos corpos de prova.

A tensão de ruptura à compressão foi obtida dividindo a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova, onde a resistência média foi obtida a partir da média aritmética das três repetições.

Ensaio de absorção de água

As amostras escolhidas constituíram os corpos de prova desse ensaio e foram secas em estufa, entre 105°C e 110°C, até constância de massa, as pesagens foram feitas depois que tijolos atingiram a temperatura ambiente, obtendo-se assim a massa M1 do tijolo seco, em gramas.

Na seqüência foram imersos os corpo-de-prova em um recipiente de água durante 24 h.

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA



Figura 9 – Imersão dos tijolos na água.

Passado esse período foram retirados da água, enxugados superficialmente com um pano e pesado antes de passar 3 minutos, obtendo-se assim a massa do tijolo saturado M2, em gramas.



Figura 10 – Pesagem dos tijolos

A diferença percentual entre a massa saturada e a massa seca do corpo-de-prova corresponde ao valor de sua capacidade total de absorção d'água, calculada em base seca. Os valores individuais de absorção d'água de cada corpo-de-prova, expressos em porcentagem, foram obtidos pela Equação mostrada a seguir, enquanto que a absorção média foi determinada pela média aritmética de 6 repetições.

$$A = \frac{M1 - M2}{M1} 100\%$$

M1 = Massa do corpo-de-prova seco em estufa (g)

M2 = Massa do corpo-de-prova saturado (g)

A = Absorção de água (%)

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

5) Resultados e discussões

5.1) - Caracterização do solo

Foram realizadas as análises no que diz respeito à caracterização do solo do Grupo Paranoá dentro da Unidade Ardósias, sendo observados os limites de consistência que influenciam consideravelmente no resultado final na produção dos tijolos de solo cimento sendo estes: Limite de liquidez e Limite de plasticidade, resultando em um percentual de WL= 26% e WP 19% podendo ser observados nas tabelas 6 e 7 abaixo:

N° da cápsula	48	37	100	25	55
N° de golpes	35	29	25	19	16
Tara (g)	42,88	43,23	25,87	41,75	41,95
tara + SH (g)	68,77	70,20	51,27	78,48	60,48
tara + SS (g)	63,81	64,96	46,05	70,98	56,35
Umidade (%)	23,70	24,11	25,87	24,35	28,68
				LL (%):	26

*SH – Solo húmido *SS – Solo seco

Tabela 6 – Limite de Liquidez

N° da cápsula	40	4004	4009	5033	4010
Tara (g)	10,49	9,09	10,12	10,27	10,71
tara + SH (g)	12,58	11,29	12,37	12,22	13,53
tara + SS (g)	11,90	10,91	12,03	11,91	13,07
Umidade (%)	48,2*	20,9*	17,8	18,9	19,5
				LP(%):	19

*SH – Solo húmido *SS – Solo seco

Tabela 7 – Limite de Plasticidade

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

* Valores desprezados por não atingirem valores satisfatórios de acordo com a norma que permite até 3 resultados para se obter o LP.

O resultado do Limite de Liquidez, $LL = 26\%$ está se mostrando satisfatório segundo as exigências da ABNT dentro da NBR 10832 (1989) que preconiza que o solo recomendado para a fabricação do tijolo de solo cimento deve ter o limite de liquidez menor ou igual a 45% que comprova que este solo possui uma boa coesão entre as partículas permitindo se realizar a moldagem do tijolo com relativa eficiência e pode ser observado, o resultado em laboratório obtido segundo Casa grande, na figura 5.

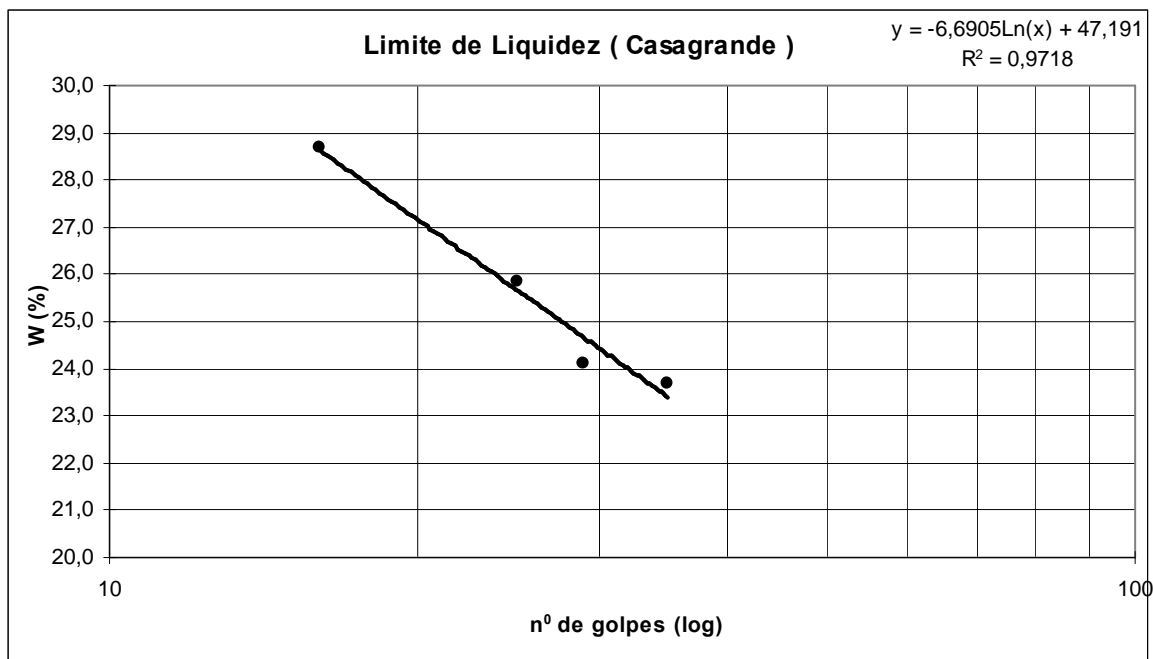


Figura 10 – Limite de liquidez

Os índices físicos do solo estudados mostraram que o solo arenoso caracterizou-se como um solo Plástico que apresentou uma quantidade suficiente de finos (argila + silte) para conferir à mistura a plasticidade necessária no momento de confecção de elementos construtivos.

A análise granulométrica, por peneiramento e sedimentação, foi realizada com o intuito de se determinar a distribuição em tamanho das partículas dos solos em estudo de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 1984a).

E para isso é necessário se obter diferentes variáveis e características dos solos estudados que são demonstrados nas tabelas que se seguem:

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

Cápsula N°	3044	3010	3048
Tara (g)	13,49	14,02	13,79
Tara + SH (g)	29,79	35,65	37,75
Tara + SS (g)	29,66	35,47	37,56
Umidade (%)	0,80	0,84	0,80
		W:	0,81

Tabela 8 – Umidade Higroscópica do solo

Ensaio com picnômetro:	A	B	C
Picnômetro N°	1	2	5
Temperatura (°C)	24,0	24,0	24,0
Pic. + água (g)	671,10	675,64	667,42
Pic. + água + solo(g)	701,70	705,73	697,83
G (g/cm ³)	2,60	2,54	2,58
		G_s:	2,59

Tabela 9 – Massa específica dos grãos

Após a determinação da massa específica do solo foi realizado o peneiramento grosso e o peneiramento fino com os seguintes resultados:

Peneira	Abertura(mm)	Solo retido(g)	Solo retido acumulado(g)	% de material que passa
2 ½"	76,2	0,00	0,00	100,0000
2"	50,8	0,00	0,00	100,0000
1 ½"	38,1	0,00	0,00	100,0000
1"	25,4	0,00	0,00	100,0000
¾"	19,1	0,00	0,00	100,0000
⅜"	9,5	0,00	0,00	100,0000
4	4,76	0,00	0,00	100,0000
10	2,00	4,35	4,35	99,5615

Tabela 10 – Peneiramento grosso

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

Peneira	Abertura(mm)	Solo retido(g)	Solo retido acumulado(g)	% de material que passa
16	1,19	0,20	0,20	99,3
30	0,59	1,10	1,30	97,7
40	0,42	2,73	4,03	93,8
60	0,25	11,15	15,18	77,8
100	0,149	15,80	30,98	55,1
200	0,074	14,57	45,55	34,2

Tabela 11 – Peneiramento fino

Massa do material úmido submetido à sedimentação M_h (g) =					70	Densímetro n°:	28476/10
Tempo	tempo (s)	temp. (°C)	L (g/cm ³)	Ld (g/cm ³)	a (cm)	QS (%)	d (mm)
30 s	30	25,2	1,0165	1,0029	12,9	31,7	0,0665
1 min.	60	25,2	1,0155	1,0029	13,1	29,4	0,0473
2 min.	120	25,2	1,0150	1,0029	13,2	28,2	0,0336
4 min.	240	25,2	1,0150	1,0029	12,4	28,2	0,0230
8 min.	480	25,1	1,0145	1,0030	12,4	27,0	0,0163
15 min.	900	25,1	1,0140	1,0030	12,5	25,8	0,0120
30 min.	1800	25,0	1,0150	1,0030	12,4	28,1	0,0084
1 h	3600	24,6	1,0150	1,0031	12,4	27,9	0,0060
2 h	7200	24,6	1,0140	1,0031	12,5	25,6	0,0043
4 h	14400	24,7	1,0140	1,0030	12,5	25,6	0,0030
8 h	28800	25,3	1,0135	1,0029	12,6	24,7	0,0021
24 h	86400	24,1	1,0135	1,0032	12,6	24,2	0,0012

Massa específica da água =	1,0000
----------------------------	---------------

Tabela 12 – Sedimentação

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

D (mm)	% mat. passa	% mat.ret.	MATERIAL*	% do material
76,2	100	0		
50,8	100	0	20,0< Pedregulho grosso <60,0	0
38,1	100	0		
25,4	100	0		
19,1	100	0		
9,52	100	0	6,0< Pedregulho médio <20,0	0
4,76	100	0	2,0< Pedregulho fino <6,0	0,4
2	99,6	0,4		
1,19	99,3	0,7	0,6< Areia grossa <2,0	1,8
0,59	97,7	2,3	0,2< Areia média <0,6	31,1
0,42	93,8	6,2		
0,25	77,8	22,2		
0,149	55,1	44,9	0,06< Areia fina <0,2	35,7
0,074	34,2	65,8		
0,0665	31,7	68,3		
0,0473	29,4	70,6		
0,0336	28,2	71,8		
0,023	28,2	71,8		
0,0163	27	73		
0,012	25,8	74,2		
0,0084	28,1	71,9		
0,006	27,9	72,1		
0,0043	25,6	74,4	0,002 < Silte < 0,06	5,7
0,003	25,6	74,4		
0,0021	24,7	75,3		
0,0012	24,2	75,8	Argila < 0,002	25,2
Total da porcentagem (%)				100

Tabela 13 – Porcentagem dos componentes físicos presentes no solo

Quanto à distribuição granulométrica, o solo arenoso apresentou-se desuniforme, facilitando sua interação com o aglomerante, o que segundo a literatura, exigirá menores quantidades de aditivos químicos para o processo de estabilização.

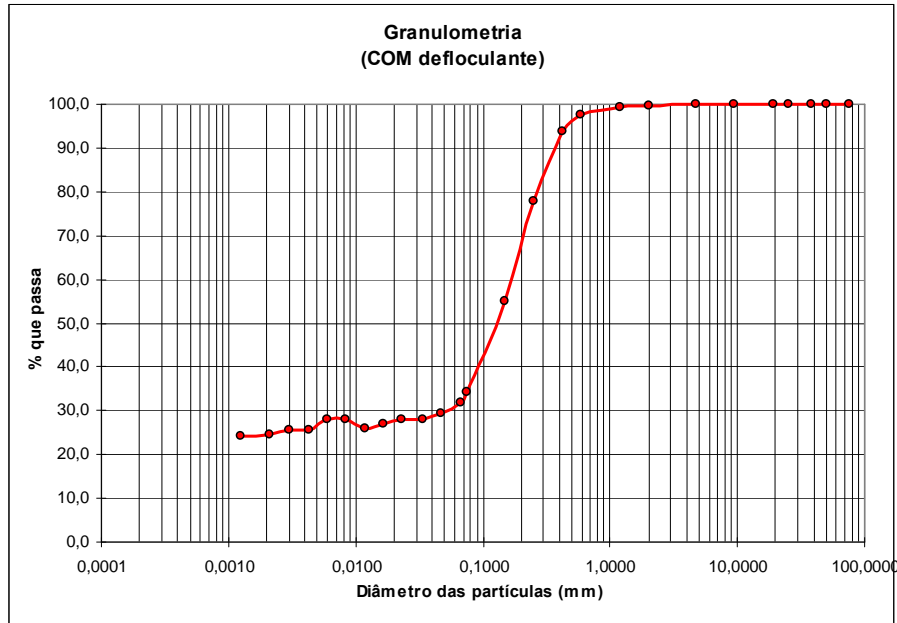


Figura 11 - Curva granulométrica.

As tabelas e os gráficos que dizem respeito a granulometria do solo estudado podem ser interpretados e visto que este solo possui aproximadamente 69% de areia, sendo esta constituída de pedregulho fina, areia grossa, média e fina, 5,7% de silte e 25,2% de argila. Com base nesses números apresentados pelo teste de granulometria realizado em laboratório pode-se inferir que o solo em questão é considerado o ideal, neste quesito, para se trabalhar com a fabricação de tijolos de solo cimento, já que ele possui uma quantia ideal de areia para estabilizar com o cimento e a quantidade certa de argila e silte para permitir a manipulação inicial e facilitar a moldagem do bloco pós-fabricado, não sendo necessário sua correção com outro tipo de material.

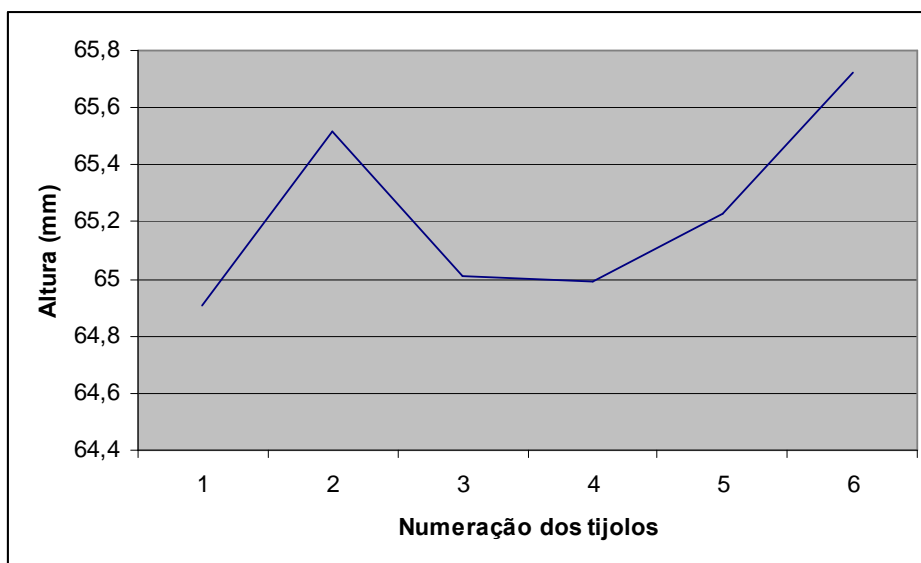
Conforme dito na parte dos materiais e métodos foram retirados do lote de 10.000 tijolos a quantia total de 18 unidades de blocos de terra compactada para se proceder as análises de absorção de água e resistência a compressão dos tijolos de solo cimento. E subdividindo-se esta quantidade, um terço para a verificação dimensional, um terço para o ensaio de absorção de água e o outro terço para o teste de resistência a compressão. Feito isso, os resultados deste ensaios são apresentados abaixo:

5.2) – Verificação dimensional

De posse dos 6 amostras destacadas para se verificar as medidas dos tijolos de solo cimento, bem como sua variação dimensional a partir da medição de um paquímetro digital que possui a precisão necessária para se evitar grandes desvios nos tamanhos dos tijolos.

A única dimensão do tijolo que sofre variação é altura, já que esta pode ser modificada de acordo com a força no momento da prensagem existindo uma regulagem na própria máquina para se ajustar a altura do tijolo prensado. O comprimento e a largura se mantêm constante devido a fôrma onde o tijolo é prensado ser a mesma para todos eles. A máxima variação permitida na altura do tijolo é de 1 mm, para se evitar irregularidades na execução da alvenaria tendo em vista que normalmente essas paredes ficam à vista, ou seja sem uso de reboco. Por isso esse controle dimensional é importante ser feito a cada mudança de traço ao qual normalmente corresponde a produção de 150 unidades, portanto a cada milheiro produzido realiza-se em média 7 medições com o paquímetro. A figura 12 mostra a variação destas medidas.

Figura 12 – Variação da altura dos tijolos.



A variação verificada não ultrapassou a casa de 1mm demonstrando-se satisfatória e permitindo uma boa execução da alvenaria ecológica.

5.3) Absorção de água

Para facilitar, os tijolos deste ensaio foram numerados de 1 a 6 para cada ensaio, sendo subdivididos em idades de 7 dias e idade de 28 dias após a fabricação, acarretando os seguintes resultados, descritos nas duas tabelas abaixo:

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

A absorção de água também foi estudada e analisada quando da caracterização e definição do desempenho dos BTCs (Blocos de terra compactada). Cabe ressaltar que a caracterização do material e dos componentes construtivos não buscou simplesmente resultados numéricos ou verificação de adequação às normas e sim a definição do comportamento do novo compósito e de BTCs produzidos com o mesmo.

Tijolos com a idade de 7 dias		
Numeração	Massa após secagem na estufa (g)	Massa após imersão na água (g)
1	2615,4	3129,7
2	2615,2	3127,7
3	2471	3014,6
4	2587,5	3103,7
5	2618,4	3129,2
6	2619,2	3133,9

Tabela 14 – Resultados da pesagem dos tijolos com 7 dias.

Tijolos com a idade de 28 dias		
Numeração	Massa após secagem na estufa (g)	Massa após imersão na água (g)
1	2487,3	2915,6
2	2547,4	2963,5
3	2560,5	2972,8
4	2591,1	2984,9
5	2556,4	2968,2
6	2522,4	2944,8

Tabela 15 - Resultados da pesagem dos tijolos com 28 dias.

De posse desses resultados individuais apresentados nas tabelas e realizado os cálculos tanto para absorção individual (Fórmula abaixo) quanto para a absorção média a partir da média aritmética das 6 repetições os resultados obtidos são demonstrados abaixo:

$$A = \frac{M1 - M2}{M1} 100\%$$

M1 = Massa do corpo-de-prova seco em estufa (g)

M2 = Massa do corpo-de-prova saturado (g)

A = Absorção de água (%)

Para idade de 7 dias em %:

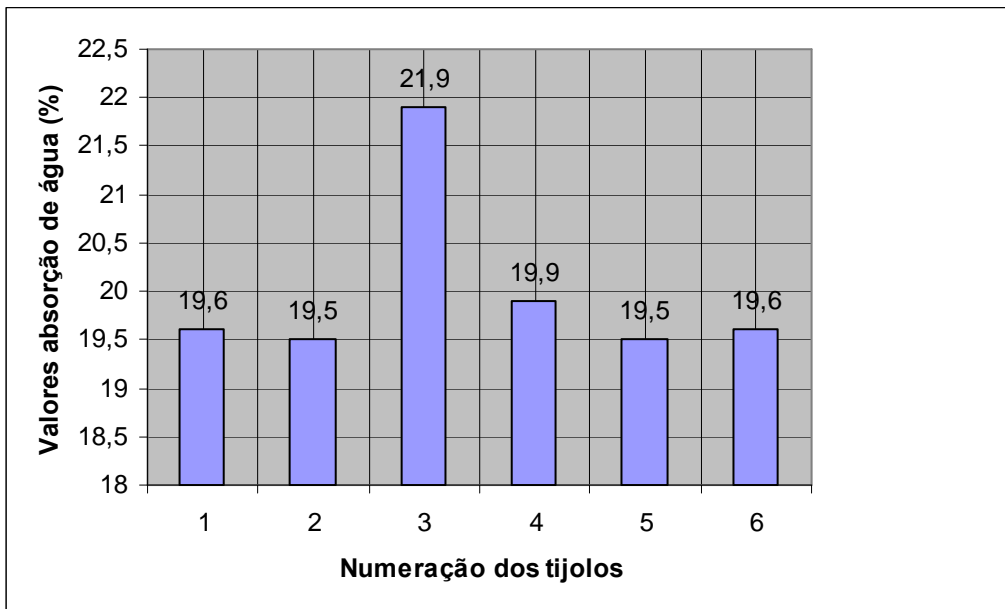


Figura 13 – Valores individuais de absorção de água para 7 dias

Para idade de 28 dias em %:

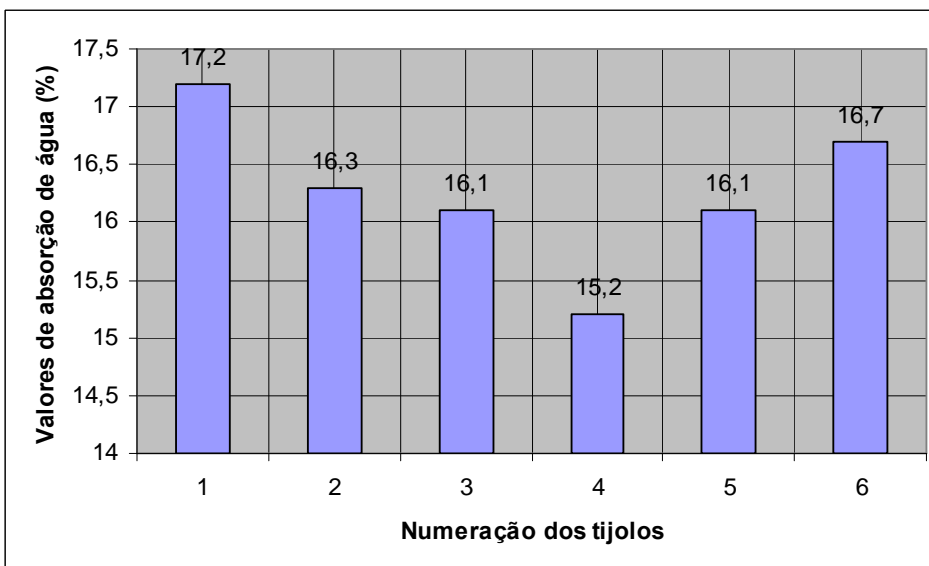


Figura 14 – Valores individuais de absorção de água para 28 dias.

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

A partir dos resultados obtidos pôde ser verificado um incremento na capacidade dos tijolos analisados, dividido a ação do tempo decorrido entre sete e vinte oito dias no que diz respeito à cura do cimento usado na estabilização do solo em questão, em resistir à entrada de água freqüente em seus poros, essa melhoria na resistência do tijolo ao longo do tempo pode ser observada no gráfico abaixo com base nos seus valores médios:

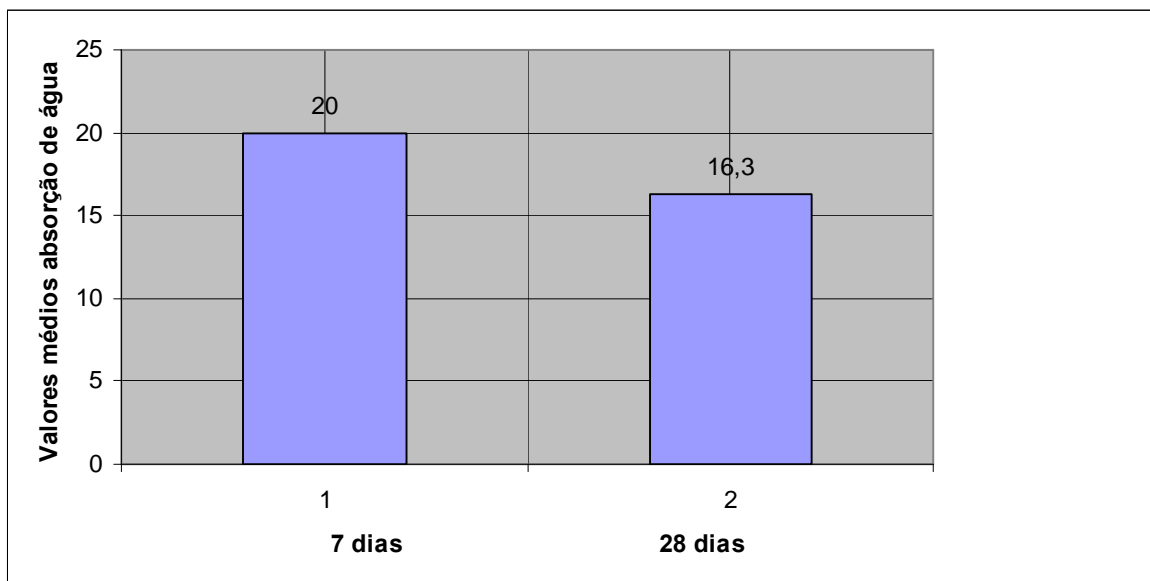


Figura 15 – Valores médios de absorção de água para 7 e 28 dias.

Os resultados obtidos para os ensaios de absorção de água para ambas as idades analisadas demonstraram seus valores médios e individuais. Os resultados mostraram uma grande tendência do compósito solo + cimento produzidos a diminuir a capacidade de absorver água ao longo do tempo graças ao incremento na resistência dos blocos devido à cura do cimento utilizado na mistura.

Portanto, a partir desses resultados pode-se inferir que o traço utilizado na confecção dos tijolos de solo cimento é adequado para o uso em construções rurais e em qualquer outro tipo de edificação, podendo este ser alterado para se obter maior satisfação no resultado para o ensaio de absorção de água, já que o valor obtido na idade de sete dias se aproxima do limite estabelecido pela norma NBR 10834 que estipula para valores médios menor ou igual a 20 % e para os valores individuais menor ou igual a 22%. Porém isso só deverá ser feito caso se queira atingir níveis melhores na capacidade do tijolo em resistir à entrada excessiva de água em seu interior ou mesmo se obter um material pronto para uso no período de uma semana após sua fabricação, ficando demonstrado que essa material analisado encontra-se dentro das exigências estabelecidas pela associação brasileira de normas técnicas.

Devido ao fato que os blocos de terra compactada com idade de sete dias não terem chegado na sua cura completa que, se dá a partir dos 28 dias de sua fabricação, os mesmos

apresentaram valores satisfatórios, tendo em vista sua baixa idade de fabricação, ficando abaixo dos valores estipulados na NBR 10834, porém é recomendado esperar a cura integral dos blocos para o uso na alvenaria evitando assim quebras e fissuras no produto.

5.4) – Resistência à compressão

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão foram obtidos a partir do rompimento dos corpos de prova confeccionados obtendo-se valores em kgf. Para se chegar nos valores na unidade correta e até mesmo medir sua resistência conforme estipula a norma NBR 10836. A tensão de ruptura à compressão foi encontrada dividindo a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova gerando um resultado em Kgf/cm^2 e, dividindo esse resultado por 10 obteve-se essa tensão em Mpa, onde 1 Mpa corresponde a 10 Kgf/cm^2

As medidas dos corpos de prova e os valores obtidos em Kgf são demonstrados pela tabela abaixo:

Corpos de prova com 7 dias		
Medidas (cm)	Área (cm^2)	Valores em Kgf
12,5 x 12	150	1120
12,5 x 12,4	155	1830
12,5 x 12,3	153,75	1360
12,6 x 12	151,2	1530
12,4 x 12,5	155	2440
12,5 x 12	150	2540

Tabela 16 – Dimensão, área e valores de ruptura dos corpos de prova com 7 dias.

Corpos de prova com 28 dias		
Medidas (cm)	Área (cm^2)	Valores em Kgf
12,6 x 12	151,2	3090
12,5 x 12,4	155	2700
12,5 x 12,4	155	2750
12,5 x 12	150	3390
12,4 x 12,5	155	4510
12,5 x 12,5	156,25	3890

Tabela 17 – Dimensão, área e valores de ruptura dos corpos de prova com 28 dias.

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

Todos os tratamentos realizados nos tijolos apresentaram bons valores de resistência à compressão para a idade de 28 dias, estando dentro das faixas indicadas pela norma NBR-10834 (ABNT, 1982) denominada Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural : determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Método de ensaio, vindo a confirmar o que foi observado por Moraes et al. (2002), que é o aumento da resistência em função da idade, com ganhos consideráveis de resistência para períodos superiores a 28 dias.

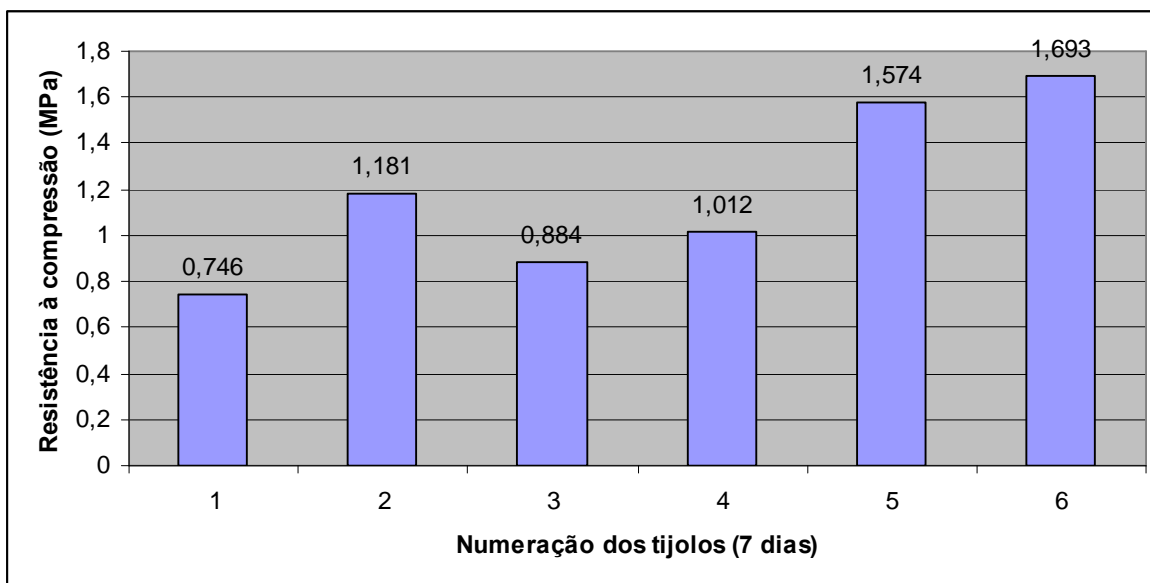


Figura 16 – Resistência à compressão individual para corpos de prova com 7 dias.

O tratamento com idade de cura de sete dias foi o que apresentou menor resistência à compressão. Um dos fatores determinantes, em relação ao aumento da resistência mecânica de tijolos de solo-cimento, é o teor de cimento. No caso desse experimento, esse fator não exerceu nenhuma influência, pois se utilizou apenas um único traço, para todos os tratamentos. Segundo Neves (1988), que estudou o uso de solo-cimento em componentes construtivos, a resistência à compressão desse tipo de mistura deve ser igual ou maior que 2,0 MPa, o que ocorreu nos tratamentos realizados na média dos corpos de prova com 28 dias.

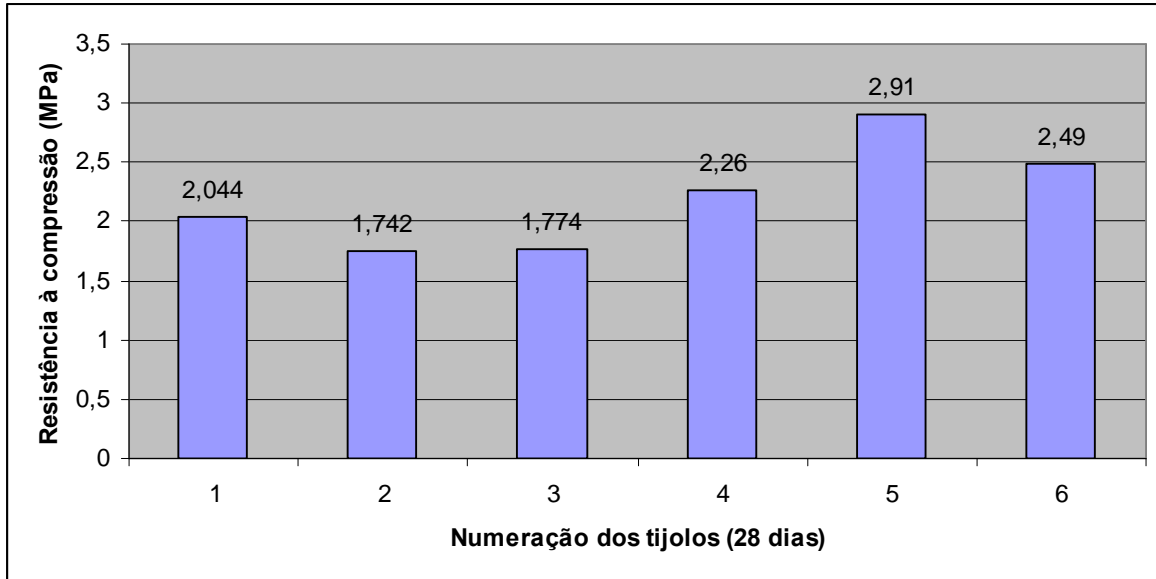


Figura 17 – Resistência à compressão individual para corpos de prova com 28 dias.

E também foram obtidos os valores da resistência à compressão média a partir da média das tensões de ruptura de cada corpo de prova podendo ser verificado no gráfico o aumento da resistência com tempo de cura dos tijolos.

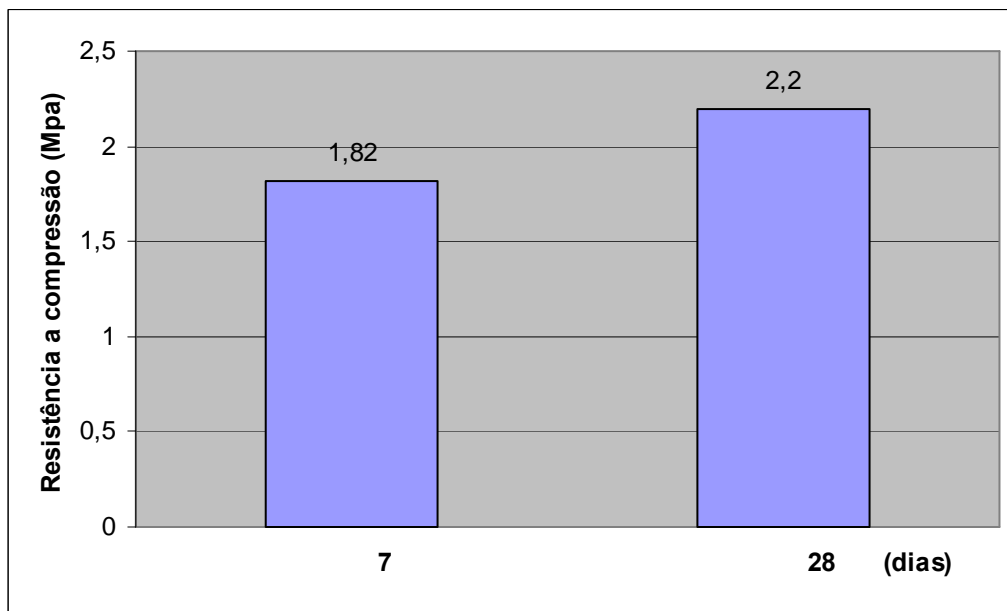


Figura 18 – Resistência à compressão média entre 7 e 28 dias

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

Pode ser verificado o aumento considerável da resistência à compressão média com o passar do tempo após a cura dos tijolos de solo cimento atingindo níveis satisfatórios de resistência com 28 dias, principalmente devido ao tempo decorrido para cura do cimento, à pressão de compactação exercida pela prensa hidráulica, a umidade que se encontrava a mistura de solo e cimento no momento da compactação e o traço utilizado de 8:1, isso garante nos blocos de terra compactados uma maior ligação entre as partículas e menores espaços intermoleculares procurando – se obter o maior nível de resistência no produto final.

O valor médio das resistências à compressão, em todos os tratamentos, foi maior à medida que se aumentaram as idades de cura, sendo que esse aumento foi de 17,27 % no referido tratamento.

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

6) Conclusões

Foi demonstrado que o solo utilizado é considerado um dos melhores para esta finalidade visto que contém aproximadamente 69% de areia, e 31% de argila e silte, permitindo sua utilização direta para a fabricação dos blocos, sem a necessidade de acrescentar aditivos para melhoria da qualidade da mistura.

No presente trabalho foi possível demonstrar que a utilização de tijolos de solo cimento torna-se viável tecnicamente graças aos resultados demonstrados onde sua resistência está acima da exigida pela norma com valor médio verificado de média de 2,2 MPa de resistência a compressão e 16,3% para absorção de água. O uso da terra do próprio local garante um custo mais acessível ao produtor e uma facilidade tanto na fabricação como na execução da alvenaria ecológica, já que esta é uma técnica simples e fácil acesso para consulta.

Conclui-se também que os percentuais de deformação específica quando do carregamento à compressão serão menores caso a umidade da mistura esteja um pouco abaixo da umidade ótima de compactação. O inverso também é verdadeiro, ou seja, quando a umidade da mistura estiver um pouco acima da umidade ótima maiores serão os percentuais de deformação.

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

7) Referências Bibliográficas

Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento (CINVA). **Aplicacion de la tierra estabilizada em la construccion de viviendas** Santa Fé de Bogotá, Colômbia, 1963.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual de construção com solo-cimento**. CEPED/THABA. Ed. Atual, São Paulo (SP), Brasil, 1984.

BANCO NACIONAL DE HABITAÇÃO (BNH). **Cartilha para construção de paredes monolíticas em solo-cimento**. BNH / CEPED. Rio de Janeiro (RJ), Brasil, 1985.

BARBOSA, Normando Perazzo; MATONNE, Roberto; e MESBAH, Ali: **Blocos de Concreto de Terra: Uma Opção Interessante Para a Sustentabilidade da Construção**. Anais do 44º Congresso Brasileiro de Concreto, Belo Horizonte – MG. Disponível na página eletrônica do SEBRAE – Biblioteca On Line, em <http://www.biblioteca.sebrae.com.br/>. 2002.

BARBOSA, Normando Perazzo: Transferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes. In Coletânea Habitar, Volume 2 – Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional, p. 12-39. ANTAC. Porto Alegre, 2003.

ENTEICHE, Augusto. **Suelo-cemento: su aplicacion em la edificacion**. Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento (CINVA). Santa Fé de Bogotá, Colômbia, 1957.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solocimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. 165 f. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

HOUBERT, Hugo; GUILLARD, Hubert. **Traité da Construción em Terre**. CRATerre, Grenoble, França, 1994.

MERCADO, M. C. **Solo-cimento: alguns aspectos referentes a sua produção e utilização em estudo de caso 1990**. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

MILANI, Ana Paula da Silva: Avaliação físico-mecânica de tijolos de solo-cimento e de solo-cal adicionados de casca de arroz. Dissertação apresentada na Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções Rurais e Ambiente. Campinas, 2005.

NEVES, C. M. M. **Desempenho de paredes: procedimento adotado para paredes monolíticas de solocimento**. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA

COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1., 1988, Florianópolis. **Anais...**
Florianópolis: [s.n.], 1988. p. 58-64.

*RIGASSI, Vincent: **Compressed earth blocks – manual of production.** CRATerre-EAG, vol.1, GATE/GTZ/BASIN, ISBN 3-528-02079-2, Alemanha, 1985.*

*ROLIM, Mário M.; FREIRE, Wesley Jorge; e BERALDO, Antonio L. : **Análise comparativa da resistência à compressão simples de corpos-deprova, tijolos e painéis de solo-cimento.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.1, p.89-92, 1999, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, 1999.*

TARTUCE, Ronaldo. **Princípios básicos sobre concreto de cimento portland.** Editora Pini, São Paulo (SP), Brasil, 1990.

pdfMachine - is a pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Get yours now!

"Thank you very much! I can use Acrobat Distiller or the Acrobat PDFWriter but I consider your product a lot easier to use and much preferable to Adobe's" A.Sarras - USA