



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

COLUNAS DE BTC ARMADO SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL

LUCAS MIRANDA ARAUJO SANTOS

JOÃO PESSOA - PB

2016

LUCAS MIRANDA ARAUJO SANTOS

COLUNAS DE BTC ARMADO SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL

Monografia apresentada à Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Givanildo Alves de Azeredo

JOÃO PESSOA - PB

2016

S237c Santos, Lucas Miranda Araujo

Colunas de BTC armado submetidas à compressão axial. / Lucas Miranda Araujo Santos./ - João Pessoa, UFPB, 2016.

f. il.:45

Orientador: Prof. Dr. Givanildo Alves de Azeredo

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) CGEC./ Centro de Tecnologia / Campus I / Universidade Federal da Paraíba.

1. BTC. 2. Ruptura 3. Ruas 4. Resistência à compressão
I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

LUCAS MIRANDA ARAUJO SANTOS

COLUNAS DE BTC ARMADO SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL

Trabalho de Conclusão de Curso defendido em 25 / 11 / 2016 perante a seguinte Banca Julgadora:

Prof. Drº. Givanildo Alves de Azeredo
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Prof. Drº. Hidelbrando Jose Farkat Diogenes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Prof. Drº. Roberto Leal Pimentel
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Prof. Drª. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que se fizeram presentes ao longo da minha caminhada acadêmica, em especial ao professor Givanildo por ter me acolhido tanto no projeto de extensão como em suas pesquisas e agora nesse trabalho. Agradeço também a todos os meus colegas de aula por todos os ensinamentos. Agradeço aos meus pais pelo apoio e confiança que me deram ao longo desses anos. Agradeço aos meus irmãos mais velhos pelo exemplo de dedicação.

RESUMO

A construção com terra representa uma grande parte do patrimônio construído no mundo, sendo uma forma de construir bastante antiga. O Bloco de Terra Compactado (BTC) surgiu da evolução do adobe, uma vez que os blocos passam a ser compactados por meios mecânicos. Visando ampliar o conhecimento sobre o uso do BTC, foram executados ensaios de compressão centrada em três colunas de BTC armado, com o propósito de determinar as cargas limites e os deslocamentos das colunas e, partindo dos resultados, avaliar se estas podem ser utilizadas como elemento estrutural em pequenas construções, evitando, portanto, o uso de colunas de concreto armado. Caso comprovada a eficiência das colunas para pequenas construções, as edificações de BTC podem tornar-se mais baratas para o comprador final, havendo uma maior penetração no mercado. Em uma cuidadosa revisão, não se encontrou nenhuma publicação que tratasse especificamente dos assuntos aqui desenvolvidos. Entretanto, existem alguns trabalhos sobre o dimensionamento de pilares de alvenaria estrutural, servindo estes de base para o desenvolvimento do presente trabalho. Então, foi tomando como base pilares de alvenaria estrutural e a principal referência foi a NBR 15812-1(2010). Utilizando-se argamassa de assentamento de terra, no traço (1:8), foram produzidas três colunas. Cada coluna tinha 4 barras de 8.0mm que ocupam 0,35% da área da seção transversal da coluna. As colunas foram ensaiadas aplicando-se carga pontual sobre uma chapa de aço, a qual distribui a carga sobre a superfície da coluna. O carregamento foi feito de modo a permitir o traçado de um gráfico correlacionando carga com deslocamento das colunas, em um processo contínuo e constante até a ruptura. Foi verificado, primeiramente, o surgimento de fissuras verticais nas faces das colunas, e, depois, a ruptura. As formas de ruínas das colunas se mostraram bastante parecidas, não havendo variações perceptíveis ao modo de ruptura para as três colunas. A análise do modo de ruptura dos modelos levou a hipótese que esta foi preponderantemente em função da falta de estribos, devido à forma das fissuras terem ocorrido ao logo da altura das colunas.

Palavras-chave: BTC; ruptura; resistência à compressão.

ABSTRACT

The construction with earth represents a great part of the built heritage in the world, being a way to build quite old. The BTC arose from the evolution of the abobe, since the blocks are compressed by mechanical means. Aiming to increase the knowledge about the use of BTC, compression tests were performed focused on three columns of reinforced BTC, in order to determine the boundary loads and the displacements of the columns. From the results, to evaluate if these can be used as structural element in small constructions, thus avoiding the use of columns of reinforced concrete. If proven the efficiency of the columns for small constructions, the BTC buildings can become cheaper for the final buyer, having a greater penetration in the market. In a careful review, no publication was found dealing specifically with the subjects developed here. However, there are some works on the design of structural masonry pillars, serving as the base for the development of this work. Then it was based on structural masonry pillars and the main reference was to NBR 15812-1 (2010). Using earth-laying mortar, in the dash (1: 8), three columns were produced. Each column had 4 8.0mm bars occupying 0.35% of the cross-sectional area of the column. The columns were tested by applying spot loading on a steel plate, which distributes over the surface of the column. The loading was done in such a way as to allow the tracing of a graph with coordinates load by displacement of the columns, in a continuous and constant process until the rupture. It was verified, first, the appearance of vertical cracks in the faces of the columns, and then, the rupture. The forms of ruins of those of the columns were very similar, with no perceptible variations to the mode of rupture for the three columns. The analysis of the rupture form of the models led to the hypothesis that this was predominantly due to the lack of stirrups due to the shape of the fissures occurring at the time of Pillar height.

Keywords: BTC; break; Resistance to compression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cidade de Bam no Irã	10	
Figura 2 - Ferragem de espera	15	
Figura 3 - Fiada guia.....	16	
Figura 4 - Aplicação de cola no assentamento dos blocos	16	
Figura 5 - Alinhamento dos blocos	Figura 6 - Blocos assentados com cola de PVA	17
Figura 7 - Detalhe das amarrações de encontro de paredes.....	17	
Figura 8 - Detalhe das instalações hidráulicas.....	18	
Figura 9 – Envoltoria de ruptura de blocos de alvenaria.....	22	
Figura 10 - Modo de ruptura dos prismas de blocos de concreto.....	23	
Figura 11 - Modos de ruptura em prisma de tijolos	23	
Figura 12 - Curvas granulométricas peneiramento/sedimentação de S1 e S2.....	25	
Figura 13 - Difratograma do s1 e s2.....	26	
Figura 14 - Mistura do solo com o cimento	Figura 15 - Adição de água.....	27
Figura 16 - Moldagem do BTC	Figura 17 - Cura.....	27
Figura 18 - Forma e ferragem da base	Figura 19 - Concretagem da base.....	28
Figura 20 - Coluna de BTC	29	
Figura 21 - Lançamento do Graute.....	30	
Figura 22 – Vista superior das posições dos transdutores de deslocamento.	30	
Figura 23 – Colunas com todo aparato experimental.	31	
Figura 24 – Primeiras fissuras	35	
Figura 25 – Carga x deslocamento	36	
Figura 26 – Ruptura da coluna	36	
Figura 27 – Primeiras fissuras	37	
Figura 28 – Carga x deslocamento	38	
Figura 29 – Ruptura da coluna	38	
Figura 30 - Primeiras fissuras.....	39	
Figura 31 – Carga x deslocamento	40	
Figura 32 – Ruptura da coluna	40	
Figura 33 - Fedilhamento	41	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produtividade e energia de compactação de algumas prensas.	14
Tabela 2 - Tipos de Estabilização.....	14
Tabela 3 - Fator de redução de carga.....	21
Tabela 4 - Coeficiente de segurança.....	22
Tabela 5- Limites de Atterberg de S1 e S2.....	25
Tabela 6 - Resultado de resistência à compressão.....	32
Tabela 7 - Resultado de absorção de água.....	32
Tabela 8 - Resistência da argamassa de assentamento	33
Tabela 9 - Resultados do graute	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1. OBJETIVOS	11
1.2. JUSTIFICATIVA	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. USO DE BTC NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	12
2.1.1. Execução dos blocos.....	12
2.1.1.1. Tipo de terra	12
2.1.1.2. Umidade de moldagem	13
2.1.1.3. Tipo de prensa	13
2.1.1.4. Tipo e percentagem de estabilizante.....	14
2.1.1.5. Cura	15
2.1.2. Execução das alvenarias	15
2.1.2.1. Ferro de espera	15
2.1.2.2. Fiada guia	16
2.1.2.3. Assentamento dos blocos.....	16
2.1.2.4. Colunas de Sustentação e amarração	17
2.1.2.5. Instalações	18
2.1.2.6. Revestimentos.....	18
2.2. COLUNAS.....	18
2.2.1. Componentes das colunas.....	18
2.2.1.1. Blocos	18
2.2.1.2. Argamassa	19
2.2.1.3. Graute	19
2.2.1.4. Aço	20
2.3. ÍNDICE DE ESBELTEZ.....	20
2.4. ALTURA EFETIVA.....	20
2.5. RESISTÊNCIA DE CÁLCULO EM PILARES DE ALVENARIA ESTRUTURAL ..	20
2.6. MODOS DE RUPTURA	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1. Cimento Portland.....	24
3.2. Aço.....	24
3.3. Brita	24
3.4. Solo	24
3.4.1. Análise granulométrica	24
3.4.2. Limites de Atterberg	25
3.4.3. Difração de raios-x (DRX)	25
3.4.4. Teor de umidade	26
3.5. Confecção dos blocos	26
3.5.1. Ensaio de resistência à compressão e absorção dos blocos.....	28
3.6. Colunas	28
3.6.1. Base	28
3.6.2. Assentamento dos blocos.....	29

3.6.3.	Graute	29
3.6.4.	Ensaio de resistência à compressão axial das colunas	30
4.	RESULTADOS	32
4.1.	Resultados preliminares	32
4.1.1.	Resistencia dos blocos à compressão e absorção por imersão	32
4.1.2.	Resultado da Argamassa dos Prismas.....	33
4.1.3.	Resultado do graute usado nas colunas.....	33
4.2.	Resultados das colunas de BTC armado.....	34
4.2.1.	Coluna 1.....	34
4.2.2.	Coluna 2.....	37
4.2.3.	Coluna 3.....	39
4.2.4.	Análise da ruptura.....	41
4.3.	Análise dos resultados de resistência das colunas de BTC armado	42
5.	CONCLUSÃO.....	43
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1. INTRODUÇÃO

A construção com terra representa uma grande parte do património construído no mundo, sendo uma forma de construir bastante antiga. No entanto, mesmo apresentando diversas vantagens a nível económico, ambiental e social, geralmente é menosprezada por estar ainda associada à construção de países em desenvolvimento (Oliveira, 2014).

Estudos apontam que habitações onde a terra é usada como material de construção ainda hoje abrigam quase um terço da humanidade (GULBENKIAN, 1983 apud BARBOSA e MATTONE, 2002). Em países asiáticos, africanos e do oriente médio existem muitas urbes construídas quase que inteiramente com esse material desafiando aos séculos. Inúmeras cidades do interior do Irã são um verdadeiro tributo à terra como material construtivo (Figura 1) (BARBOSA e MATTONE, 2002).

Figura 1 - Cidade de Bam no Irã



Fonte: Oliveira (2014)

No Brasil, muitas construções com terra foram feitas antes do aparecimento dos materiais industrializados, e representa ainda hoje um notável patrimônio, sobretudo em cidades que tiveram seu apogeu nos tempos coloniais como Mariana, Ouro Preto e tantas outras. No interior Nordestino, inúmeras casas de senhores de engenho na zona da mata e de fazendeiros no sertão foram construídas em terra (SANTOS et al, 2016).

Há diversos tipos de solo e a maioria não é adequado para ser usado na construção em seu estado *in natura*. Para se obter blocos com resistência adequada para se construir uma casa é necessário se fazer um melhoramento nesse solo. Para isso o solo precisa ser misturado à um material estabilizante (cal, cimento etc.) e também precisa algumas vezes passar por uma correção granulométrica em função do teor de argila e areia encontrados. Estabilizar a

terra significa melhorar suas propriedades mecânicas, como resistência, absorção de água etc.

Entre as técnicas de construção com terra a construção com Blocos de Terra Compactada (BTC) é a mais utilizada atualmente na construção com terra (Carvalho, 2015). O BTC surgiu da evolução do abobe, uma vez que os blocos passam a ser compactados por meios mecânicos e dispensado o processo de queima. Essa evolução perimiu, além de blocos com maior controle dos formatos e dimensões, uma melhor resistência à compressão, maior resistência à erosão e menor absorção de água (Ribeiro, 2015).

Visando ampliar o conhecimento sobre o uso do BTC, foram executados ensaios de compressão centrada em três colunas de BTC armado, com o propósito de determinar as cargas limites e os deslocamentos das colunas e, partindo dos resultados, avaliar se estas podem ser utilizadas como elemento estrutural em pequenas construções, evitando, portanto, o uso de colunas de concreto armado.

1.1. OBJETIVOS

- Verificar a resistência à compressão dos blocos usados na construção das colunas de BTC.
- Avaliar os resultados dos ensaios de compressão axial centrada nas colunas.
- Verificar se há eficiência na resistência das colunas com o uso de armadura longitudinal em relação à resistência dos BTC.

1.2. JUSTIFICATIVA

Na construção de residências é comum a necessidade de abertura de vãos por alguma exigência construtiva ou então a necessidade de aplicação de cargas concentradas. Nesse sentido, surge a necessidade de analisar se a utilização de colunas de BTC armado poderia ser eficiente nessas situações.

Caso comprovada a eficiência das colunas para pequenas construções, as edificações de BTC podem tornar-se mais baratas para o comprador final, havendo uma maior penetração no mercado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em uma cuidadosa revisão bibliográfica não foi encontrado nenhuma publicação que tratasse especificamente de colunas de BTC armado. Entretanto, existem alguns trabalhos sobre pilares de alvenaria estrutural, servindo estes de base para o desenvolvimento do presente trabalho.

Tendo em vista que o estudo tem o objetivo de trabalhar com BTC, também foi realizada uma breve revisão bibliográfica a sobre o assunto.

2.1. USO DE BTC NA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1.1. Execução dos blocos

Em relação à execução dos BTC, primeiramente deve fazer uma mistura do solo com o estabilizante e adicionar água na quantidade indicada pelo o estudo de umidade ótima. Em seguida, a mistura é colocada nos moldes de uma prensa, para então ser moldada. Depois de retirada dos moldes, os blocos devem ser mantidos em local coberto, para iniciar o processo de cura.

Segundo Buriol (2002), os blocos, depois de receber a cura, tem elevada resistência à compressão, e baixa absorção de água.

Segundo Barbosa et al (1997), em termos práticos, pode-se dizer que, com relação à qualidade dos blocos prensados, ela depende principalmente:

- do tipo de terra;
- da umidade de moldagem;
- do tipo de prensa;
- do tipo e percentagem de estabilizante;
- da cura.

2.1.1.1. Tipo de terra

A terra é um recurso inesgotável e sua utilização na construção não interfere no ciclo de vida dos ecossistemas, uma vez que, para ser utilizada para fins construtivos, a terra não pode ser fértil.

A caracterização do solo para construção civil pode ser dada por: cor, cheiro, tato, brilho, aderência e lavagem. Estas características são de fundamental importância na escolha do material, uma vez que, servem como uma espécie de triagem para que o material seja

levado para uma segunda etapa de seleção que é a realização de testes para medir os parâmetros desse solo.

Reddy e Gupta (2005) afirmam que os melhores solos para produção de BTC são solos arenosos e que não apresentem argila expansiva.

A distribuição granulométrica é muito importante na qualidade final dos blocos. Quando o solo não se enquadra nessa faixa ideal, é possível fazer uma correção granulométrica. Para os BTC's, pode-se dizer que é desejável que o solo tenha: 10 a 20% de argila; 10 a 20% de silte; e 50 a 70% de areia (BARBOSA, 2003).

Segundo Barbosa et al (1997), é conveniente que o solo, para produção de BTC, apresente plasticidade e que seu limite de liquidez não seja excessivo, de preferência menor que 40 – 45 %.

2.1.1.2. Umidade de moldagem

O teor de umidade ideal para moldagem varia em função do tipo de solo. Normalmente essa umidade não é exatamente aquela obtida no ensaio de compactação (Proctor). Nele obtém-se a densidade máxima aplicando-se uma compressão dinâmica. No entanto, na prensa, tem-se uma compactação praticamente estática, daí certa diferença (REDDY e GUPTA, 2005).

Nesse caso, o ideal seria fazer um estudo de densidade seca, onde são prensados alguns blocos, aumentando gradativamente o teor de umidade, partindo-se do teor de umidade natural do material. Avaliando ainda, a quantidade de material utilizada para confecção dos blocos, e comparando com o peso do bloco executado e seu volume, obtém-se a densidade seca pela Equação 1.

$$\gamma_d = \frac{P_w}{[(1 + w) \times V]} \quad (1)$$

Onde: γ_d é a densidade seca; P_w é o peso do bloco logo após a moldagem, ainda úmido; w é o teor de umidade; V é o volume do bloco.

2.1.1.3. Tipo de prensa

O tipo de prensa é importante, pois quanto maior a compactação imposta ao solo, o produto final terá maior qualidade.

As prensas podem ser manuais ou motorizadas, a Tabela 1 apresenta a produtividade e energia de compactação de algumas prensas.

Tabela 1 - Produtividade e energia de compactação de algumas prensas.

Tipo de prensa		Energia de compactação (MPa)	Taxa de compactação do solo ¹	Produção (BTC/dia)
Manual	Mecânica	1,5 – 2,0	1,38	300 a 1.200
	Hidráulica	2,0 – 10,0	1,65	2.000 a 2.800
Motorizada	Mecânica	4,0 – 24,0	> 1,65	1.600 a 12.000
	Hidráulica	>20,0	> 2,00	2.000 a 4.000

Fonte: FERRAZ JUNIOR (1995)

2.1.1.4. Tipo e percentagem de estabilizante

Segundo Barbosa et al (1997), estabilizar um solo significa a ele misturar produtos que melhorem suas propriedades, inclusive sob a ação da água. Um dos melhores e mais difundidos estabilizantes é o cimento. Teores da ordem de 4 a 6 % de cimento são capazes de produzir tijolos prensados de excelente qualidade. A percentagem do estabilizante depende do tipo de solo que se vai empregar e também da resistência requerida. Se houver muita argila presente, será exigido no mínimo 6 % de cimento. Se o solo é bem graduado, 4% de cimento já levam a blocos de boa qualidade.

Os principais objetivos da estabilização de um solo são: aumentar a resistência mecânica, aumentar a coesão e reduzir a porosidade. Os tipos de estabilização são três: mecânica, física e química, como pode se observar na Tabela 2.

Tabela 2 - Tipos de Estabilização

Tipos de estabilização	Mecânica	A resistência mecânica, a porosidade, a permeabilidade e a compressibilidade são alteradas através da compactação e da adição de fibras.
	Física	A alteração da textura da terra é realizada através da mistura controlada de partículas de diferente composição e granulometria; podem também conseguir-se os mesmos resultados através de tratamentos térmicos e elétricos.
	Química	As propriedades da terra são modificadas por adição de produtos químicos que alteram as características da terra através de reações químicas.

Fonte: http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2932__Terra_MC1.pdf

A correta seleção do material é de grande importância para o sucesso na aplicação da

terra na construção, no entanto o solo pode ser utilizado mesmo que suas características in natura não sejam 100% satisfatórias, é possível estabilizar esse solo para que assim este se torne viável.

2.1.1.5. Cura

O BTC precisa ser curado para evitar a evaporação da água da mistura, pois, se isto não for feito, não vai haver tempo para o completo processo de hidratação, resultando em blocos de menor qualidade. Um método muito eficaz consiste em se cobrir os tijolos com uma lona plástica após serem fabricados. Assim impede a evaporação da água. Também é aplicada a prática de ficar molhando periodicamente os tijolos novos, porém a proteção com a lona plástica é mais eficaz.

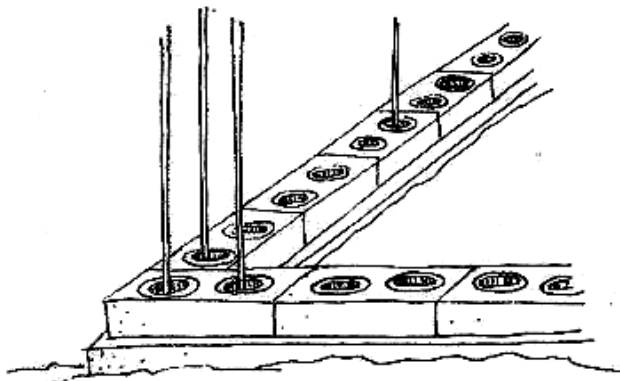
2.1.2. Execução das alvenarias

Em relação a execução das alvenarias com uso de BTC, deve-se tomar cuidado com a sequência construtiva para obter bons resultados e conseqüentemente diminuir os custos de execução. A seguir será descrito as principais etapas de execução das alvenarias de uma casa com o uso de BTC.

2.1.2.1. Ferro de espera

Devem-se prever na fundação alguns ferros de espera que servirão como colunas e amarração da estrutura, como mostra a Figura 2. Esses ferros devem ser bem fixados na fundação para garantir uma boa ligação entre a fundação e às paredes. O fato das colunas serem embutida nos tijolos economiza-se ferro, madeira e mão-de-obra de carpinteiros e armadores (BUSON, 2007).

Figura 2 - Ferragem de espera

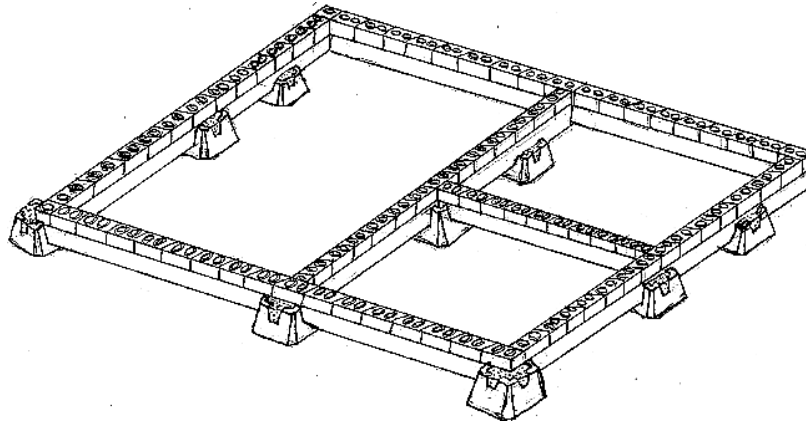


Fonte: BUSON (2007).

2.1.2.2. Fiada guia

Segundo Buson (2007), após execução da fundação deve-se fazer uma fiada guia sem considerar os espaços das portas (Figura 3). Com isso, será garantida toda a modulação da casa e auxiliar na execução do piso.

Figura 3 - Fiada guia



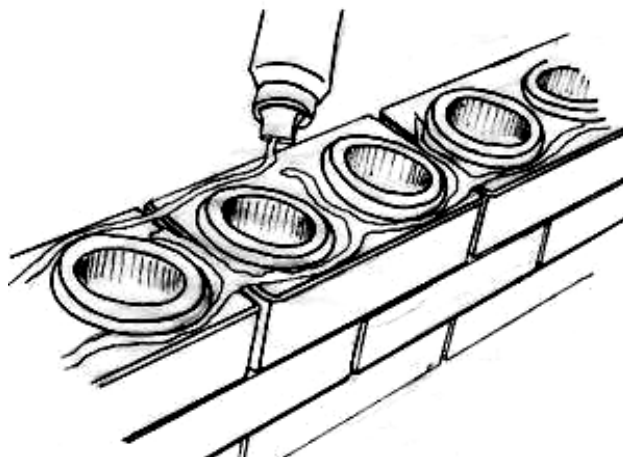
Fonte: BUSON (2007).

2.1.2.3. Assentamento dos blocos

Como os tijolos têm encaixes, garante melhor alinhamento dos blocos e a produtividade no assentamento aumenta. O mais recomendável é uma fina camada de cola branca, como mostra a Figura 4 (BUSON, 2007).

Neves e Faria (2011) comentam que o procedimento para execução do assentamento do BTC deve ser feito com aplicação com biscoito ao redor dos furos de filete de argamassa fluída de cimento e areia ou de cimento e terra ou de cimento, cola PVA e terra ou areia.

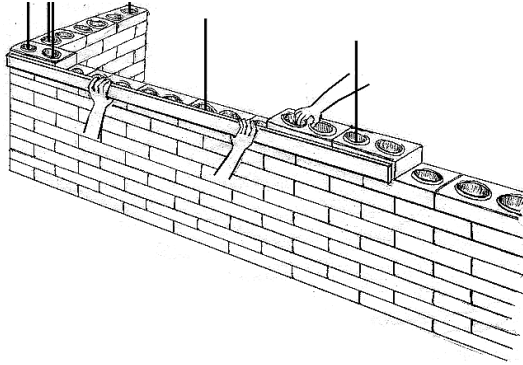
Figura 4 - Aplicação de cola no assentamento dos blocos



Fonte: BUSON (2007).

Para um melhor alinhamento horizontal dos blocos, recomenda-se colocar uma régua conforme a Figura 5, para auxílio do assentamento dos blocos. A Figura 6 mostra uma alvenaria assentada com cola de PVA.

Figura 5 - Alinhamento horizontal dos blocos



Fonte: BUSON (2007).

Figura 6 - Blocos assentados com cola de PVA

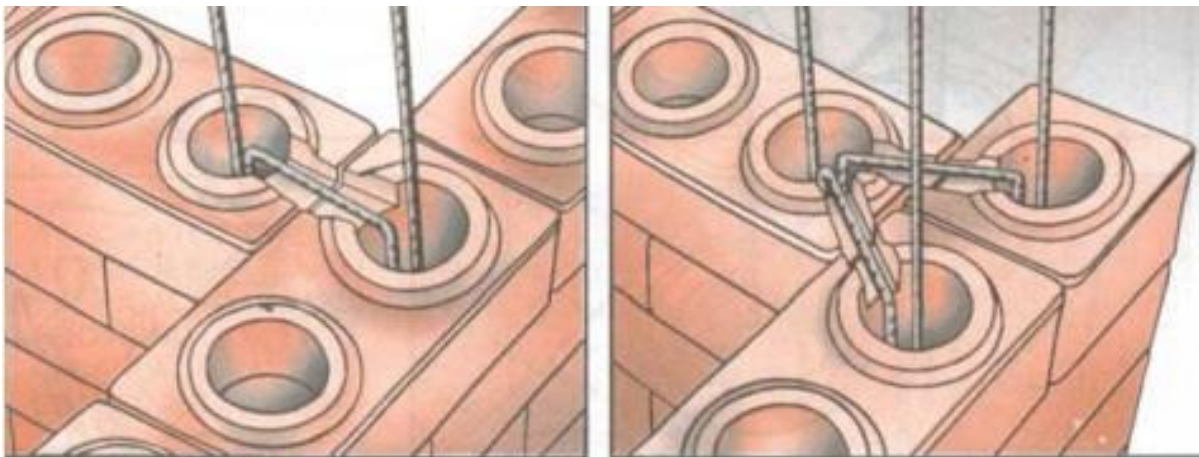


Fonte: Pisani (2005)

2.1.2.4. Colunas de Sustentação e amarração

Os ferros de espera devem ser dispostos de forma que, a cada dois metros de comprimento da parede, se coloca uma barra de aço na vertical e concreta o furo (NEVES e FARIA, 2011). Buson (2007) afirma também que em todos os cantos ou encontros de paredes devem ter no mínimo duas barras de ferro para sustentação e estabilidade da edificação. A amarração de encontro de paredes pode ser realizada como mostra a figura (Figura 7).

Figura 7 - Detalhe das amarrações de encontro de paredes

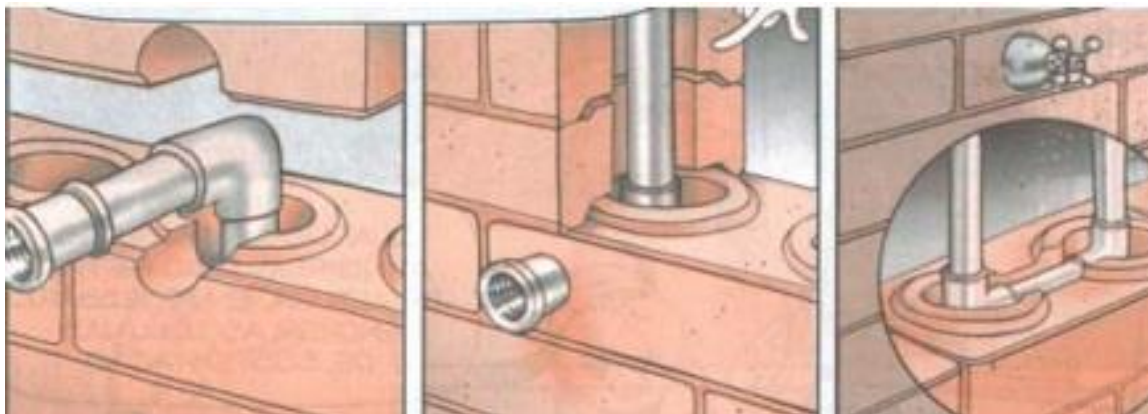


Fonte: Grupo Aguilar – SAHARA.

2.1.2.5. Instalações

Os tubos para as instalações hidráulica e elétrica passam pelos próprios furos evitando o desperdício de materiais. A Figura 8 ilustra algumas situações de uso.

Figura 8 - Detalhe das instalações hidráulicas



Fonte: Grupo Aguilar – SAHARA.

2.1.2.6. Revestimentos

Por ser um sistema de encaixe e de fácil alinhamento, produz-se uma alvenaria uniforme, dispensando o uso excessivo de material para o revestimento. Nas paredes internas de área seca é possível a aplicação de gesso diretamente sobre os blocos e em seguida a aplicação da pintura. Nas áreas úmidas, o azulejo pode ser aplicado sobre a alvenaria. Em suma, o chapisco, emboço e reboco são dispensados internamente (PENTEADO e MARINHO, 2011).

2.2. COLUNAS

Para tratar sobre esse tema, foi tomando como base pilares de alvenaria estrutural e a principal referencia foi a NBR 15812-1(2010).

2.2.1. Componentes das colunas

2.2.1.1. Blocos

A especificação dos blocos deve ser feita de acordo com a ABNT NBR 10836 (1993).

2.2.1.2. Argamassa

A argamassa de assentamento possui as funções básicas de solidarizar, transmitir e uniformizar as tensões entre os blocos, absorver deformações e evitar a entrada de água e de vento nas edificações (RAMALHO E MÁRCIO, 2003).

Ferreira et al (2011) fez um estudo comparativo utilizando argamassa usual no traço, em volume, 1:2:9 (cimento+cal+areia média) com argamassa de solo-cimento nos traços 1:6, 1:8 e 1:10, também em volume. No estudo foi evidenciado que os prismas executados com argamassas de solo-cimento, para os três traços avaliados (1:6, 1:8 e 1:10), mostraram comportamento similar à compressão em relação aos prismas executados com argamassa usual.

Romagna (2000) afirma que a resistência da argamassa deva estar entre 40 e 60% da resistência do bloco na sua área líquida. No entanto, Cunha (2001) observou que o aumento de resistência da argamassa não interfere na resistência de prismas, ocós e grauteados, pois aumento na resistência das argamassas equivale a acréscimo muito pequeno na resistência à compressão dos prismas de alvenaria.

2.2.1.3. Graute

Segundo a NBR 10837(200), o graute deve ter sua resistência característica maior ou igual a duas vezes a resistência característica do bloco. No entanto, segundo Ramalho e Márcio (2003), devido a resistência do bloco ser referida a área bruta e o índice de vazios para os blocos ser aproximadamente 50%, seria mais claro afirmar que a resistência do graute deve ser maior ou igual a resistência do bloco em relação a área líquida. Essa recomendação é feita para que o conjunto bloco, graute e armadura trabalhe monoliticamente. Mohamad (2015) recomenda um traço nas seguintes faixas 1:2-3:1-2(cimento: areia: brita) para graute de alvenaria estrutural.

O graute é uma mistura de materiais cimentícios e água (fator a/c entre 0,8 a 1,1), com agregados de até 10 mm de diâmetro em proporção tal que se obtenha consistência líquida sem que haja segregação dos componentes.

A NBR 15812-2(2010) recomenda uma altura máxima de lançamento do graute (sem aditivos) de 1,6 m.

2.2.1.4. Aço

As barras de aço são as mesmas utilizadas nas estruturas de concreto armado, porém sempre envolvidas por graute, para garantir o trabalho conjunto com o restante dos componentes da alvenaria (RAMALHO E MÁRCIO, 2003).

De acordo com a NBR 15812-1 (2010), a armadura longitudinal mínima para pilares armados não deve ser menor que 0,3% da área da seção transversal da coluna.

2.3. ÍNDICE DE ESBELTEZ

O índice de esbeltez é definido pela relação entre a altura efetiva e a espessura do pilar (Equação 4).

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \quad (4)$$

O valor máximo do índice de esbeltez, de acordo com a NBR 15961-1 (2011) é de 30 para pilares armados.

2.4. ALTURA EFETIVA

Segundo a NBR 15961-1 (2011), altura efetiva (h_{ef}) do pilar, em cada uma das direções principais de sua seção transversal, deve ser considerada igual à altura do pilar ou o dobro da altura do pilar. Deve ser considerado a altura do pilar se houver travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais ou as rotações das suas extremidades na direção considerada. No caso em que uma extremidade for livre e se houver travamento que restrinja o deslocamento horizontal e a rotação na extremidade da direção considerada, deve ser considerado o dobro da altura do pilar.

2.5. RESISTÊNCIA DE CÁLCULO EM PILARES DE ALVENARIA ESTRUTURAL

Segundo a NBR 15812-1 (2010), para pilares de alvenaria estrutural a resistência de cálculo é obtida através da Equação 2.

$$N_{rd} = 0,9 * f_d * A * R \quad (2)$$

Onde:

N_{rd} é a força normal resistente de cálculo;

f_d é a resistência à compressão de cálculo da alvenaria;

A é área da seção resistente;

$R = [1 - (\frac{\lambda}{40})^3]$ é o coeficiente redutor devido a esbeltez do pilar.

A norma ainda ressalta que a contribuição de eventuais armaduras existentes deve sempre ser desconsiderada.

Segundo a NBR 8949(1985), a resistência característica à compressão simples da alvenaria (f_k) pode ser estimada como 85% da resistência de pequenas paredes (painéis reduzidos). A resistência f_d é obtida dividindo a resistência característica à compressão simples (f_k) da parede pelo coeficiente de segurança (Tabela 4).

No entanto, segundo Bastos e Pinheiro (1994), para o cálculo da força normal de cálculo, considerando o limite último, é considerada a resistência característica da alvenaria e da armadura. Segundo o mesmo autor, o efeito da esbeltez do pilar é levado em conta através de um fator de redução da carga, como mostra a equação 3.

$$N_d = \beta \left(\frac{f_k * A_{alv}}{\gamma_{mm}} + \frac{0,83 * f_y * A_s}{\gamma_{ms}} \right) \quad (3)$$

Onde:

N_d = força normal resistente de cálculo;

β = fator de redução da carga (Tabela 3);

f_k = resistência característica da alvenaria;

γ_{mm} = coeficiente parcial de segurança da alvenaria armada, na compressão direta (Tabela 4);

A_{alv} = Área da seção transversal da alvenaria;

f_y = Resistência característica da armadura;

A_s = Área da seção transversal da armadura;

γ_{ms} = Coeficiente parcial de segurança da armadura, adotada como sendo 1,15.

Tabela 3 - Fator de redução de carga

$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}}$	β
0	1
6	1
8	1
10	0,97
12	0,93
14	0,89
16	0,83

Fonte: BASTOS e PINHEIRO (Adaptado).

Tabela 4 - Coeficiente de segurança

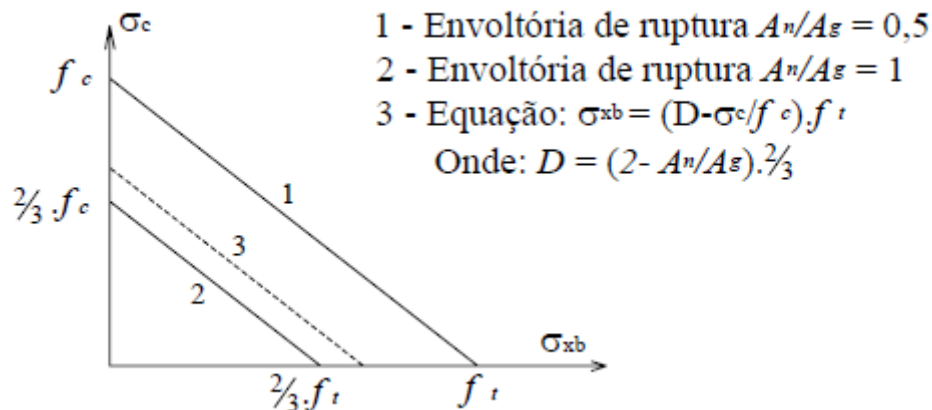
Categoria do controle de fabricação	γ_{mm}
Especial	2,0
Normal	2,3

Fonte: BASTOS e PINHEIRO (Adaptado).

2.6. MODOS DE RUPTURA

Nos blocos de alvenaria a envoltória de ruptura entre diferentes relações de área líquida (A_n) e a área bruta (A_g), segue o comportamento mostrado na Figura 9. Nesta figura σ_c é a tensão uniaxial aplicada na unidade, f_t é a resistência à tração uniaxial das unidades e f_c é a resistência à compressão uniaxial das unidades (Mohamad, 2007 apud Afshari e Kaldjan, 1989).

Figura 9 – Envoltória de ruptura de blocos de alvenaria

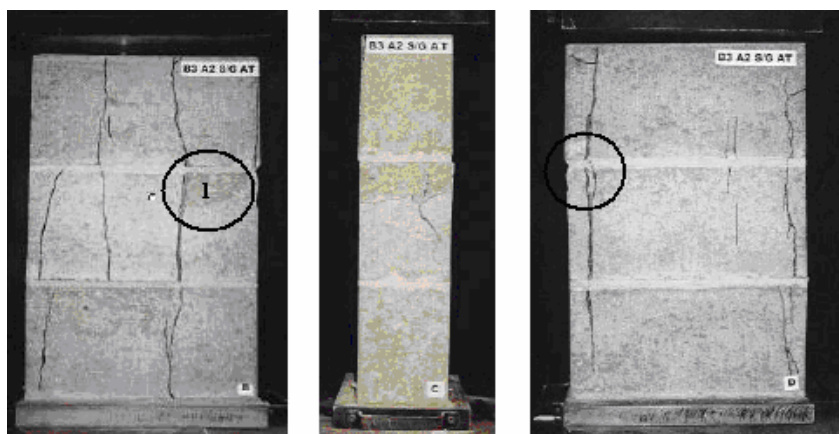


Fonte: Mohamad (2007)

A figura 9 mostra que à medida que as tensões de tração aumentam sobre o bloco, a capacidade de resistir a tensões de compressão diminui.

Romagna (2000) avaliou o comportamento mecânico dos prismas de bloco de concreto à compressão com e sem graute. As fissuras eram verticais ao longo da seção transversal do prisma. Aconteceram, também, fendilhamentos na parede do bloco (região demarcada como 1 na Figura 10).

Figura 10 - Modo de ruptura dos prismas de blocos de concreto

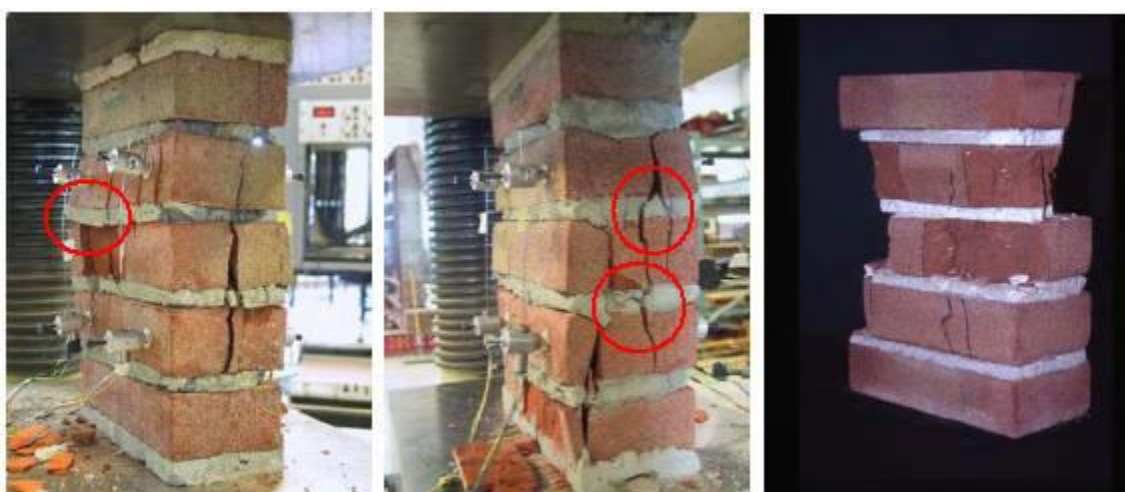


Fonte: Romagna (2000)

O autor ainda conclui que de acordo com as características visuais de ruptura obtidas durante os ensaios, notou-se que a argamassa induz no bloco elevadas tensões laterais. O esmagamento não levou os prismas grauteados a perderem a capacidade resistente; gerou apenas fissuras ao longo do comprimento do bloco tendendo, posteriormente, a esfacelar o bloco superior em contato com a junta (Romagna, 2000).

Vermeltoort (2004) ensaiou prismas com tijolos maciços à compressão. Os modos de ruptura indicaram um esfacelamento da superfície de contato entre o bloco e a argamassa e, um posterior surgimento de fissuras por fendilhamento, como mostram os círculos da Figura 11. Mohamad (2007) comparou a configuração de trincas de Vermeltoort (2004) e concluiu que é semelhante à encontrada nos ensaios de McNary (1984) e Shrive e Rahman (1985).

Figura 11 - Modos de ruptura em prisma de tijolos



Fonte: Vermeltoort (2004).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Cimento Portland

Foi usado cimento Portland CP II Z 32 adquirido em comercio local para estabilização do solo, fabricação do graute e na concretagem da base da coluna (para simular a fundação). Na estabilização do solo foi usado em porcentagem de 12% do peso de solo. Já para a produção do graute foi usado no traço em massa de 1:2,5:2(cimento: areia: brita) e base da coluna foi utilizado no traço em massa de 1:2:2(cimento: areia: brita).

3.2. Aço

Foi utilizado aço CA-50 de diâmetro 8.0mm como ferragem longitudinal das colunas e CA-60 de diâmetro 5.0mm nos estribos localizados na base. Para execução das três colunas foi utilizado 30 metros de barras de 8.0mm e 6 metros de barras de 5.0mm.

3.3. Brita

Foi utilizado 50 kg brita de 10 mm na produção do graute e 50 kg de brita 19 mm para a base.

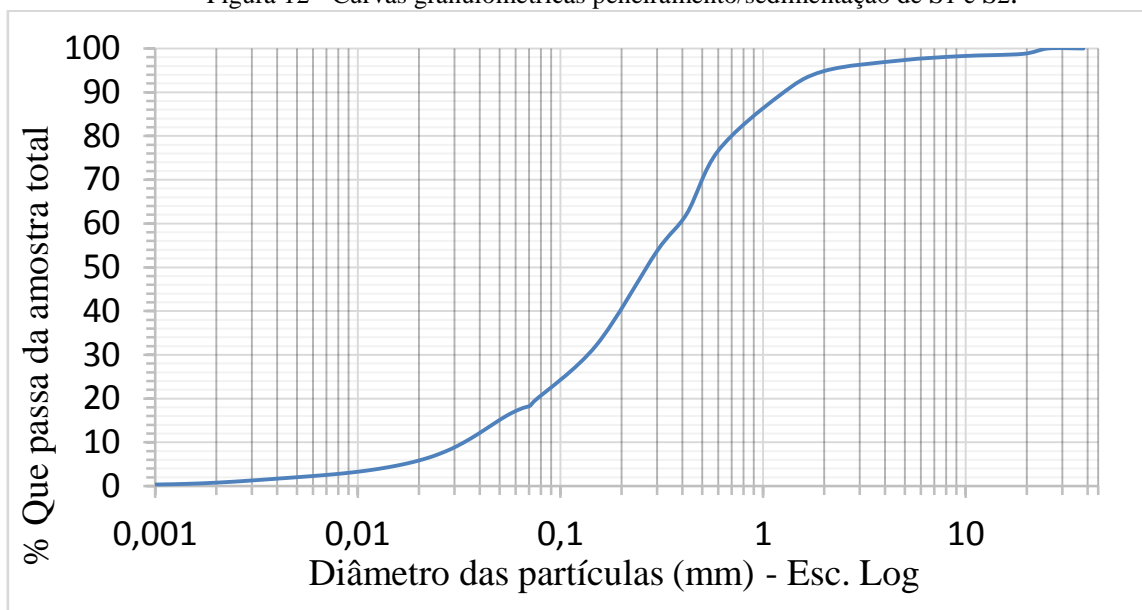
3.4. Solo

O solo utilizado foi adquirido no comercio local. Para atestar se o solo era ou não adequado para uso em BTC, foi realizada a caracterização por análise granulométrica, Limites de Atemberg e Difração de Raios-X (DRX).

3.4.1. Análise granulométrica

Para o ensaio de análise granulométrica do solo em estudo, baseou-se no que é preconizado pelas normas NBR 7181/84 e DNER – ME 051/94. A Figura 12 mostra a curva granulométrica.

Figura 12 - Curvas granulométricas peneiramento/sedimentação de S1 e S2.



Fonte: Autor.

3.4.2. Limites de Atterberg

Os procedimentos realizados baseiam-se no que é preconizado na norma NBR 6459/84 para limite de liquidez e nas normas NBR 7180/84 e DNER – ME 082/94 para limite de plasticidade. Na Tabela 5, são apresentados o limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e o índice de plasticidade (IP) do solo.

Tabela 5- Limites de Atterberg de S1 e S2.

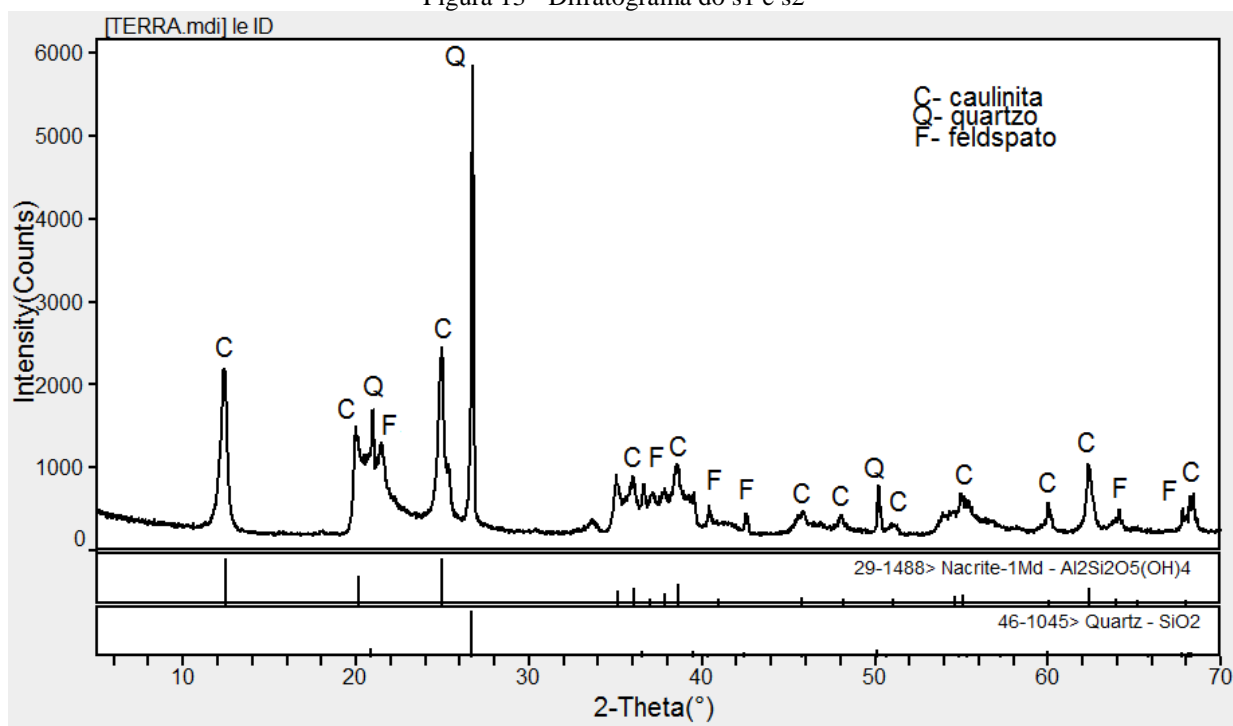
SOLO	LIMITES DE ATTERBERG		
	LL	LP	IP
	28,6	18,6	10,0

Fonte: Autor.

3.4.3. Difração de raios-x (DRX)

As características mineralógicas dos solos foram determinadas através do DRX. A identificação dos picos foi feita pelo uso do software MDI JADE 5.0. A amostra foi destorroada e peneirada na peneira de malha 0,075mm e analisada na forma de pó. Na Figura 13.

Figura 13 - Difratoograma do s1 e s2



Fonte: Autor.

De acordo com o resultado do DRX, o solo é do tipo caulínítico, apresentando picos de quartzo e feldspato.

3.4.4. Teor de umidade

O teor de umidade foi estabelecido através de testes manuais e seguindo as instruções sugeridas por (NEVES e FARIA, 2011), chegou-se a uma umidade na ordem de 6%, em peso de água, em função da mistura solo-cimento.

3.5. Confeção dos blocos

Sendo caracterizado o solo e escolhida a umidade de moldagem dos blocos, deu-se início a produção dos mesmos. Inicialmente pesou-se 100 kg do solo e 12 kg de cimento, logo em seguida foi feita a homogeneização da mistura solo cimento Figura 14. Feito isso, adicionou-se água paulatinamente, conforme Figura 15 até o limite indicado no item 3.4.4.

Figura 14 - Mistura do solo com o cimento



Figura 15 - Adição de água



Fonte: Autor

Com a mistura pronta deu-se inicio a moldagem dos blocos, a Figura 16 mostra um bloco moldado. Em seguida os blocos foram empilhados em camadas de até 3 blocos e submetidos a um processo de cura por 28 dias, coberto por sacos plásticos conforme mostrada mostrado na Figura 17.

Figura 16 - Moldagem do BTC



Figura 17 - Cura



Fonte: Autor

3.5.1. Ensaio de resistência à compressão e absorção dos blocos

Após os 28 dias, foi retirado uma amostra aleatória dos blocos, conforme a NBR 10834 e realizado os ensaios de resistência a compressão e de absorção por imersão conforme a NBR 10836.

3.6. Colunas

Com o fim do processo de cura, deu-se inicio a construção de três colunas de BTC. O processo de construção ocorreu conforme a sequência que será descrita a seguir.

3.6.1. Base

Foi executada uma base de concreto para simular a fundação da coluna. Antes da concretagem da base foram adicionados os ferros de espera, como mostra a Figura 18. A armadura foi bem fixada na base para garantir uma boa ligação entre a “fundação” e a coluna.

A Figura 19 mostra o concreto sendo adensado com as quatro barras de espera de 8.0 mm que serão usadas como ferragem de armação da coluna. As barras de 8.0mm equivale a 0,35% da área da seção transversal da coluna, obedecendo ao que é preconizado na NBR 15812-1 (2010), em relação a área mínima de ferragem.

Figura 18 - Forma e ferragem da base



Figura 19 - Concretagem da base



Fonte: Autor

3.6.2. Assentamento dos blocos

Utilizando-se argamassa de assentamento de terra, no traço (1:8), foram produzidas três colunas de seção transversal de 25x25 cm e de 1,7 m de altura (altura determinada em função da limitação de altura do pórtico a qual ia ser realizado o ensaio), sendo que 20 cm são relativos à altura da base. O assentamento foi realizado colocando dois blocos em direção perpendicular a direção dos blocos inferiores de forma consecutiva até atingir uma altura de 1,7 metros de coluna, como é detalhada na figura 20.

Figura 20 - Coluna de BTC



Fonte: Autor

3.6.3. Graute

Após o assentamento de todos os blocos foi realizado o lançamento do graute, a uma altura de 1,5 m, no traço 1:2,5:2 e fator água cimento 0,8. Essas recomendações estão de acordo com Mohamad (2015). A Figura 21 mostra o lançamento do Graute.

Figura 21 - Lançamento do Graute



Fonte: Autor

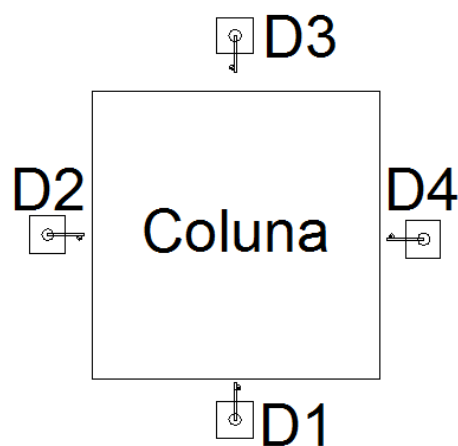
3.6.4. Ensaio de resistência à compressão axial das colunas

Depois da construção das colunas se fez necessário fazer um capeamento de 5 cm na superfície superior para uma melhor distribuição das tensões e pintar as colunas com cal para melhor acompanhamento das fissuras que aparecem durante o ensaio.

O ensaio foi realizado após 28 dias, contados a partir do término do assentamento no dia 14/10/2016.

Foram instalados quatro transdutores de deslocamento no terço central de cada coluna conforme detalhado na Figura 22. No entanto o transdutor de deslocamento (D3) foi desconsiderado devido inconsistência dos valores obtidos.

Figura 22 – Vista superior das posições dos transdutores de deslocamento.



Fonte: Autor

As colunas foram ensaiadas aplicando-se carga pontual sobre uma chapa de aço, a qual distribui a carga sobre a superfície da coluna. O ensaio foi realizado através de uma prensa hidráulica com capacidade de 75 t, instalada em um pórtico metálico de dimensões compatíveis com a coluna. A Figura 23 mostra as três colunas prontas para ensaio.

Figura 23 – Colunas com todo aparato experimental.



Fonte: Autor

O carregamento das três colunas foi medido com o auxílio de uma célula de carga com capacidade de 1000 kN e os deslocamentos com auxílio dos quatro transdutores de deslocamento. O conjunto estava provido de um log para o registro, através do software AMR control, das cargas em kN e deslocamento em mm.

O carregamento foi feito de modo a permitir o traçado de um gráfico correlacionando carga com deslocamento das colunas. Os transdutores de deslocamento foram retirados antes que se atingisse a ruptura para não os danificar.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados preliminares

4.1.1. Resistência dos blocos à compressão e absorção por imersão

Foram realizados ensaios à compressão axial e de absorção de água utilizando 6 blocos de BTC para cada ensaio, retirados aleatoriamente. Os resultados são mostrados na Tabela 6 e 7.

Tabela 6 - Resultado de resistência à compressão

CP	Carga (kN)	Área bruta (cm ²)	Resistência (MPa)
1	51,60	156,25	3,30
2	40,30	156,25	2,58
3	50,20	156,25	3,21
4	58,50	156,25	3,74
5	40,50	156,25	2,59
6	34,00	156,25	2,18
Média	45,85	-	2,93
Desv. Pad.	9,08	-	0,53

Fonte: Autor

Tabela 7 - Resultado de absorção de água

CP	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Absorção (%)
1	3274,30	3780,20	0,15
2	3299,90	3819,90	0,16
3	3310,80	3896,80	0,18
4	3315,30	3901,90	0,18
5	3299,00	3802,70	0,15
6	3321,20	3925,00	0,18
Média	3303,42	3854,42	0,17
Desv. Pad.	16,68	60,67	0,01

Fonte: Autor

De acordo com a NBR 10834(1994) os resultados dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água por imersão atende às exigências de uso.

4.1.2. Resultado da Argamassa dos Prismas

Foram realizados ensaios à compressão axial de 6 corpos-de-prova de argamassa, retirados durante o assentamento dos blocos. Os corpos-de-prova foram obtidos da argamassa confeccionada para as três colunas de BTC. Os resultados são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resistência da argamassa de assentamento

CP	Carga (N)	Resistência (MPa)
1	873,09	0,44
2	706,32	0,36
3	725,94	0,37
4	824,04	0,42
5	627,84	0,32
6	706,32	0,36
Média	743,93	0,38
Desv. Pad.	89,14	0,04

Fonte: Autor

Foi observado um valor de resistência à compressão dos corpos-de-prova muito abaixo do esperado (item 2.2.1.2). Provavelmente pela falta de controle do fator água/cimento.

4.1.3. Resultado do graute usado nas colunas

Foram realizados ensaios à compressão axial de 6 corpos-de-prova, em que esses corpos-de-prova foram retirados da mesma mistura do graute que foi utilizado nas colunas. Os resultados de compressão axial do graute são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados do de resistência à compressão do graute

CP	Carga (kN)	Resistência (MPa)
1	7,671	9,77
2	8,282	10,55
3	10,899	13,88
4	10,152	12,93
5	9,105	11,60
6	8,353	10,64
Média	9,08	11,56
Desv. Pad.	1,23	1,57

Fonte: Autor

O resultado da resistência do graute foi aproximadamente quatro vezes maior que a resistência dos blocos, enquanto, segundo a NBR 10837, o graute deve ter sua resistência característica maior ou igual a duas vezes a resistência característica do bloco. No entanto a mesma não limita em quantas vezes o graute deve ter resistência maior que a resistência dos blocos.

Cunha (2001) em seu estudo de interface bloco/graute em elementos de alvenaria estrutural afirmou que quanto maior a resistência do graute, maior a resistência dos prismas, demonstrando que a resistência do graute comanda a resistência dos prismas grauteados, mantido a mesma resistência dos blocos. No entanto, esse crescimento não é proporcional ao crescimento da resistência do graute. O autor percebeu que o uso de grautes cada vez mais resistentes, com baixo fator água/cimento, não contribui tanto na resistência dos prismas. Portanto, o uso de grautes com alta resistência acarreta na elevação dos custos da estrutura, tornando-se inviável a sua utilização.

4.2. Resultados das colunas de BTC armado

A determinação da resistência à compressão e a deformabilidade das colunas foi realizada conforme procedimento citado em 3.2.6.

4.2.1. Coluna 1

Foi registrado o aparecimento da primeira fissura com a carga de 145 kN, equivalente a 2,32 MPa, nos lados dos transdutores de deslocamento 1 e 2. A Figura 24 mostra os locais de aparecimento das primeiras fissuras.

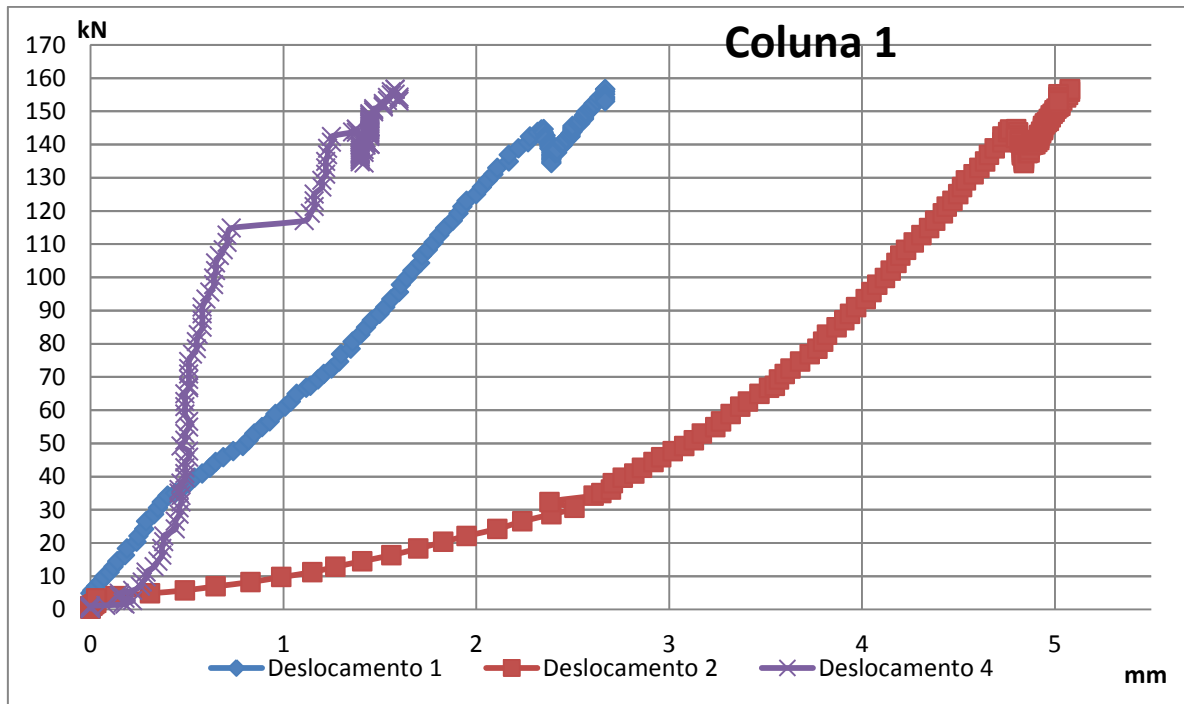
Figura 24 – Primeiras fissuras



Fonte: Autor

Verifica-se na figura 25 que houve uma queda de tensão exatamente no valor de 145 kN, e em seguida, após acomodação, a mesma voltou a crescer. Com a carga de 153 kN, os transdutores de deslocamento foram retirados para que não se danificassem com a ruptura da coluna. O ensaio continuou até aplicação da carga de 208,7 kN, magnitude que causou a ruptura da coluna.

Figura 25 – Carga x deslocamento



A forma de ruína da coluna 1 pode ser observada na Figura 26.

Figura 26 – Ruptura da coluna



4.2.2. Coluna 2

Foi registrado o aparecimento da primeira fissura com a carga de 145 kN, também equivalente a 2,32 MPa, no lado do transdutor de deslocamento 1 e a segunda fissura só apareceu com a carga de 190 kN no lado do transdutor de deslocamento 4. A figura 27 mostra o local de aparecimento das primeiras fissuras.

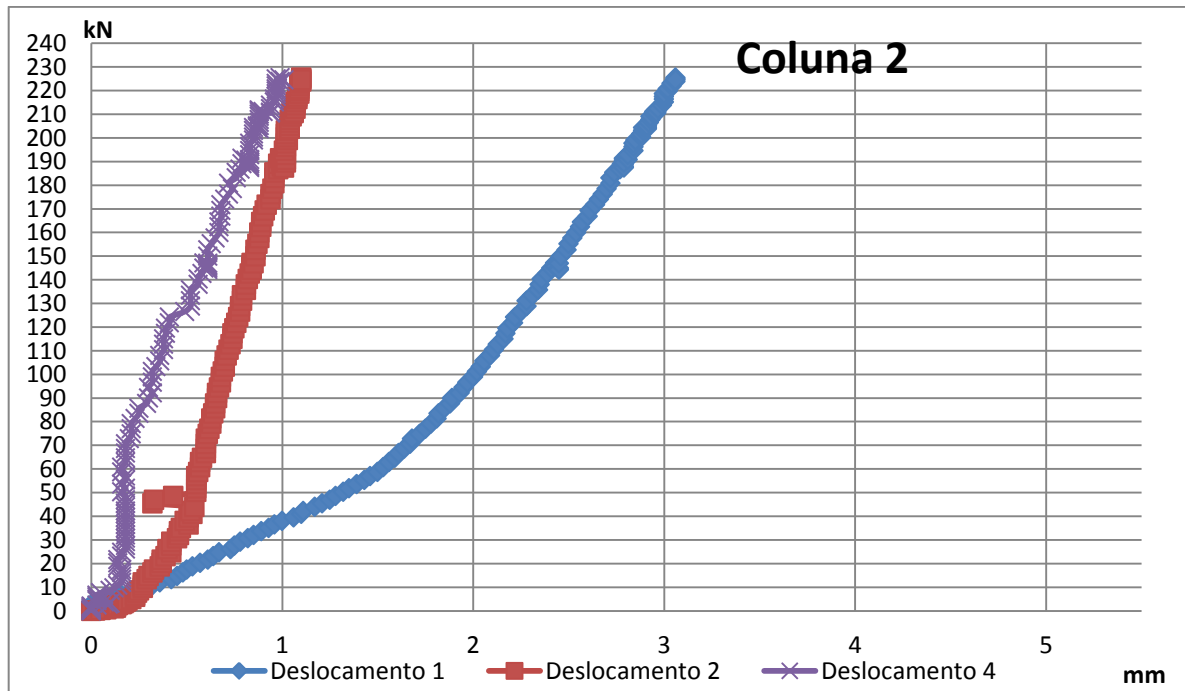
Figura 27 – Primeiras fissuras



Fonte: Autor

Verifica-se na figura 28 que houve uma pequena agitação no transdutor 1 no valor de 145 kN e nos transdutores 2 e 4 na carga de 190kN. Com a carga de 224,6 kN, foi retirado os transdutores de deslocamento para que os mesmos não se danificassem com a ruptura da coluna. O ensaio continuou até aplicação da carga de 277,2 kN, carga de ruptura da coluna.

Figura 28 – Carga x deslocamento



Fonte: Autor

A forma de ruína da coluna 2 pode ser observada na Figura 29.

Figura 29 – Ruptura da coluna



Fonte: Autor

4.2.3. Coluna 3

Foi registrado o aparecimento da primeira fissura com a carga de 197 kN, o equivalente a 3,15 MPa, no lado dos transdutores 2 e 3. A figura 30 mostra o local de aparecimento das primeiras fissuras.

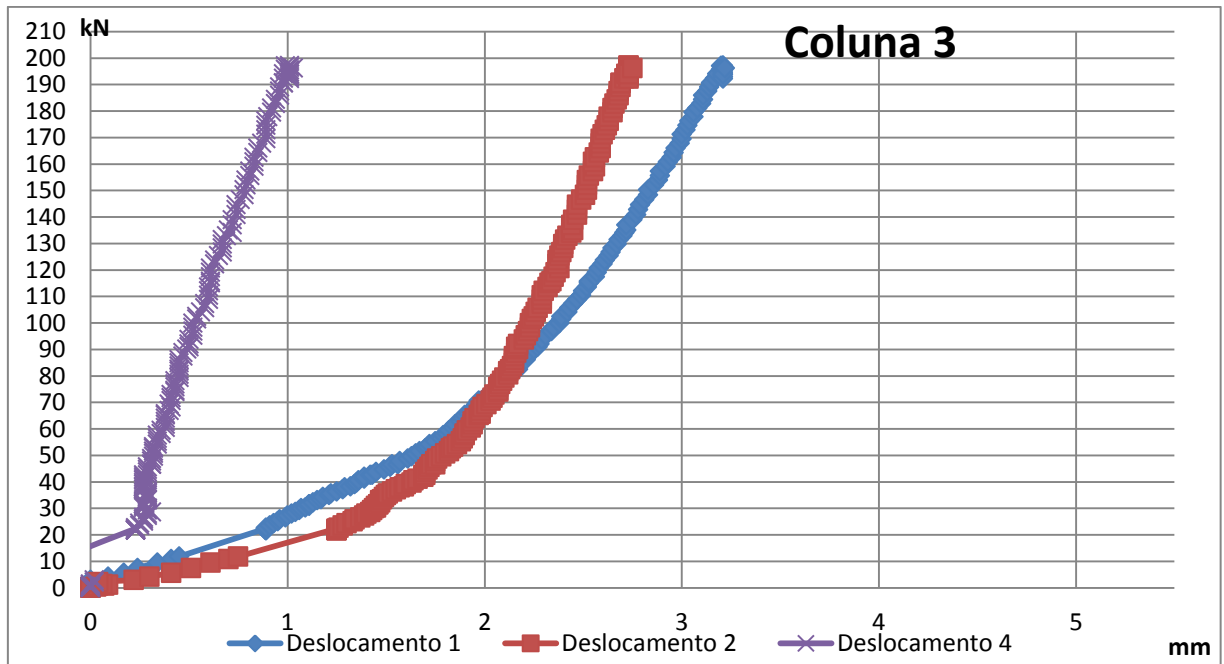
Figura 30 - Primeiras fissuras



Fonte: Autor

Verifica-se na figura 31 que houve uma queda de tensão aproximadamente no valor de 197 kN. Com a incerteza dos resultados, os transdutores foram retirados para que não se danificassem com a ruptura da coluna. O ensaio continuou até aplicação da carga de 276,6 kN, carga de ruptura da coluna.

Figura 31 – Carga x deslocamento



Fonte: Autor

A forma de ruína da coluna 3 pode ser observada na Figura 32.

Figura 32 – Ruptura da coluna



Fonte: Autor

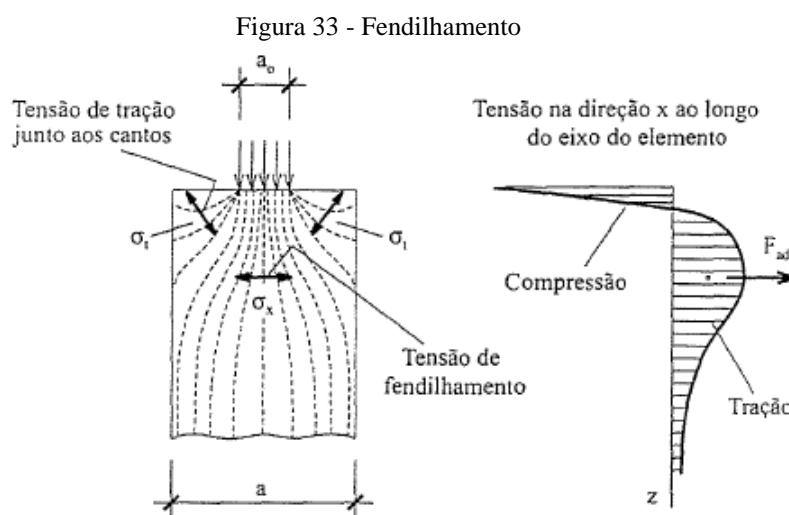
4.2.4. Análise da ruptura

Os modos de ruptura das colunas se mostraram bastante parecidos, não havendo variações perceptíveis no modo de ruptura para as três colunas.

Foi verificado, primeiramente, o surgimento de fissuras verticais nas faces das colunas, e, depois, sua ruptura. Esse tipo de ruptura foi observado também por Romagna (2000, p. 91) e Calçada (1998, p.110) para ensaio de prismas de alvenaria grauteados.

Após as primeiras fissuras, a coluna resistiu a uma considerável carga até a ruptura. No entanto observou-se um grande aumento nas fissuras verticais.

A análise da forma de ruptura dos modelos levou a hipótese que esta foi preponderantemente em função da falta de estribos devido à forma das fissuras terem ocorrido ao logo da altura do pilar. Outra provável causa das fissuras pode ser o fendilhamento conforme mostrado na figura 33.



Fonte: El Debs (2000)

Observou-se que apesar das fissuras nos blocos, a ruptura da coluna ocorreu após a ruptura em um dos furos grauteados.

Analisando os deslocamentos das três colunas percebe-se que a coluna 1 teve deslocamento muito maior que as colunas 2 e 3. No entanto, comparando-se as cargas de ruptura percebe-se que a coluna 1 teve menor resistência. Portanto, a provável causa de ruptura precoce da coluna 1 foi devido a alguma deficiência no adensamento do graute, que ficou com menor resistência. Essa hipótese está de acordo com Romagna (2000), que concluiu que à medida que se aumenta a resistência do graute nos prismas, o conjunto torna-

se mais rígido e com menores deformações antes da ruptura.

4.3. Análise dos resultados de resistência das colunas de BTC armado

Segundo a NBR 15812-1 (2010), para pilares de alvenaria estrutural a resistência de cálculo é obtida através da Equação 2.

$$N_{rd} = 0,9 * f_d * A * R$$

De acordo com Queiroga (2016) a resistência média das alvenarias produzidas com o mesmo tipo de bloco que foi usado nesse trabalho é de 1,105 MPa (fk).

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} = \frac{1,5}{0,25} = 6$$

$$R = [1 - (\frac{\lambda}{40})^3] = [1 - (\frac{6}{40})^3] = 0,997$$

$$N_{rd} = 0,9 * (1,105 * 10^3 / 2,3) * (0,25^2) * 0,997 = 29,94 \text{ kN}$$

No entanto, Segundo BASTOS e PINHEIRO (1994), para o cálculo da força normal de cálculo, considerando o limite último, foram consideradas as resistências da alvenaria e da armadura.

$$N_d = \beta \left(\frac{f_k * A_{alv}}{\gamma_{mm}} + \frac{0,83 * f_y * A_s}{\gamma_{ms}} \right)$$

$$\beta = 1 \quad \gamma_{mm} = 2,3 \quad A_{alv} = 0,25^2 \text{ m}^2 \quad f_y = 500 \text{ Mpa} \quad A_s = 5,03 * 10^{-5} \text{ m}^2 \quad \gamma_{ms} = 1,15$$

$$N_d = 1 \left(\frac{1,105 * 10^3 * 0,25 * 0,25}{2,3} + \frac{0,83 * 500 * 10^3 * 5,03 * 10^{-5}}{1,15} \right)$$

$$N_d = 30,02 + 18,15$$

$$N_d = 48,18 \text{ kN}$$

Em contrapartida, o valor da carga correspondente à primeira fissura nas três colunas de BTC armado foi de 145 kN.

5. CONCLUSÃO

- Os modos de ruptura das colunas se mostraram bastante parecidas, não havendo variações perceptíveis ao modo de ruptura para as três colunas.
- O uso de estribos provavelmente evitaria o aparecimento precoce de fissura, podendo, portanto, oferecer maior capacidade de carga às colunas.
- As primeiras fissuras apareceram para a carga da ordem de grandeza da resistência do bloco. No entanto a ruptura da coluna ocorreu com cargas na ordem de grandeza maior que a resistência do bloco, caracterizando, portanto, uma eficiência da coluna em relação ao bloco.
- A resistência das colunas de BTC, quando comparada aos valores referenciados de pilares de alvenaria estrutural, tem melhor desempenho. Pela norma a resistência de cálculo é cerca de 5 vezes menor que o valor do aparecimento da primeira fissura nas colunas em estudo. No entanto é preciso realização de outros ensaios com carga excêntrica, por exemplo, para chegar a conclusões mais precisas.
- Nas colunas de BTC armado, contamos com a economia de mão de obra de carpintaria e dispensamos o uso excessivo de madeira.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10834. Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural*. Rio de Janeiro. 1994.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10836 Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Determinação da resistência à compressão e da absorção de água: determinação da resistência à compressão e da absorção de água: método de ensaio*. Rio de Janeiro. 1993.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15812-1. Alvenaria estrutural – Blocos de concreto parte 1: Projeto*. Rio de Janeiro. 2011.

BARBOSA, N. P. e MATTONE, R. – **Construção em Terra**. I Seminário Ibero Americano de Construção em Terra, Salvador, BA, 2002.

BARBOSA, N. P.; TOLEDO FILHO, R. D.; GHAVAMI, K. **Construção com terra crua**. In: TOLEDO FILHO, R. D.; NASCIMENTO, J. B. W. GHAVAMI, K. (Ed.). *Materiais de construção não convencionais*. [S. l.]: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, Lavras, p. 113-144, 1997.

BASTOS, P. S. S; PINHEIRO, L. M. (1994). **Pilares de alvenaria estrutural submetidos a compressão axial**. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., Florianópolis, Brazil, 21-24 Aug. 1994. Proceedings. Florianópolis, Univ. Fed. Santa Catarina / University of Edinburgh/ ANTAC, 1994. p. 127-136.

BURIOL, Telmo Luiz. **Caracterização de jazidas para construção de habitações populares, com solo-cimento, em Santa Maria**. 2002. 139 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

BUSON, M. A. **Autoconstrução com tijolos prensados de solo estabilizado**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB, 100 p.: il, 2007.

CALÇADA, L. M. L. **Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de bloco de concreto**. Florianópolis, 1998. 188p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

CUNHA, E. H. **Análise experimental do comportamento de prismas grauteados em alvenaria estrutural**. Goiânia, 2001. 149p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás.

McNary, S. W. (1984). **Basic properties of clay-unit masonry in compression**. M.Scthesis. Colorado, University of Colorado.

NEVES, C. M. M. e FARIA O. B. **Técnicas de Construção com Terra**. Bauru-SP, FEB-UNESP/ PRO-TERRA, 2011.

Oliveira, J., (2014). **Comportamento mecânico de blocos de terra compactada ativados alcalinamente**.

PENTEADO, P. T.; MARINHO R. C. **Análise Comparativa de Custo e Produtividade dos Sistemas Construtivos: Alvenaria de Solo-Cimento, Alvenaria com Blocos Cerâmicos e Alvenaria Estrutural com Blocos de Concreto na Construção de uma Residência Popular**. Monografia. Curitiba - PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

Ramalho, Marcio. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural** / Mareio A. Ramalho, Mareio R. S. Corrêa. São Paulo: Pini, 2003. p.; cm.

Ribeiro, A., (2015). **Análise experimental do comportamento ao corte de paredes reforçadas em alvenaria de BTC**.

Reddy, B. V. V.; Gupta A. **Characteristics of soil-cement blocks using highly Sandy soils**. Indian Institute of Science, India, 2005.

ROMAGNA, R. H. **Resistência à compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados**. Florianópolis, 2000. 218p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

Santos L. M. A.; Azerêdo A. F. N.; Azerêdo G. A.; Assis S. R. H.; Barbosa N. P.; **Propriedades físicas, mineralógicas e mecânicas de solos para uso em blocos de adobe**. Congresso Luso-Brasileiro. Brasil, 2016.

Shrive, N. G. and El-Rahman. (1985). **Understanding the cause of cracking in concrete: A diagnostic aid**. *Journal Concrete International*. Volume 7. Issue 5. May.

Vermeltfoort, A. T. (2004). **Brick-mortar interaction in masonry under pressure**. *PhD thesis*. Technical. University of Eindhoven. October.