

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

DANIEL DEL LAMA DE UNAMUNO
FELIPE PILUSKI BILINSKI
ROBERSON LUIZ SIMÕES IZZO

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS FUROS NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DE BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2013

DANIEL DEL LAMA DE UNAMUNO
FELIPE PILUSKI BILINSKI
ROBERSON LUIZ SIMÕES IZZO

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS FUROS NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DE BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Projeto Final 2, do curso de Engenharia de Produção Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. José Alberto Cerri
Co-orientador: Prof. Dr. Fernando Luiz Martinechen Beghetto.

CURITIBA
2013

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente ao nosso orientador prof Dr. José Alberto Cerri que nos sugeriu o tema e nos deu a direção do caminho a seguir, ao Co-orientador deste trabalho Prof. Dr. Fernando Luiz Martinechen Beghetto que se mostrou solícito desde o momento em que lhe pedimos sugestões, ao Prof. Dr André Jacomel Torii que nos apresentou as ferramentas para que as análises fossem possíveis, ao Prof. Gustavo Macioski responsável pelo laboratório da UTFPR que nos auxiliou nos ensaios físicos.

Também manifestamos a nossa gratidão ao demais professores da UTFPR que contribuíram para os nosso aprendizado até o momento.

E a todos aqueles que de alguma forma presenciaram e incentivaram os nossos esforços para que a realização deste trabalho fosse possível.

UNAMUNO, Daniel; BILINSKI, Felipe; IZZO, Roberson. Estudo da influência dos furos na resistência à compressão de blocos cerâmicos de vedação. 2013. 69 f. Monografia, Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013

RESUMO

O presente trabalho apresenta estudos com a finalidade de propor uma nova geometria que aumente a resistência à compressão do bloco cerâmico de vedação utilizado na construção civil. Para tanto são apresentadas características do atual cenário de produção de blocos, análises dimensionais e mecânicas de blocos encontrados no mercado e modelos sugeridos, simulados computacionalmente pelo método de elementos finitos com o uso do programa Abaqus®. As propostas foram dimensionadas conforme os critérios da norma NBR 15.270:1 para espessuras de paredes e septos, também foi utilizada uma mesma área de seção transversal, que conferiu a cada unidade a mesma quantidade de matéria prima empregada. Foi utilizado o modelo matemático de Mohr-Coulomb para a caracterização das propriedades mecânicas do material. Com base nas análises, pôde-se identificar, através de diagramas, as regiões de maior concentração de tensão. Estas regiões foram alteradas geometricamente, analisadas, e tiveram os seus resultados apresentados comparativamente.

Palavras-chave: Bloco Cerâmico de Vedação; Elementos Finitos; Geometria.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PRODUÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA VERMELHA (10 ⁹ PEÇAS).....	12
TABELA 2 – EMISSÃO DE CO ₂ NA PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS.....	15
TABELA 3 – DIMENSÕES DE FABRICAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO.....	17
TABELA 4 – TOLERÂNCIA DIMENSIONAIS RELACIONADAS À DIMENSÃO EFETIVA.....	18
TABELA 5 – TOLERÂNCIA DIMENSIONAIS RELACIONADAS À MÉDIA DAS DIMENSÕES EFETIVAS .	18
TABELA 6 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (f_b).....	18
TABELA 7 – CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO E REJEIÇÃO POR ENSAIOS.....	31
TABELA 8 – DIMENSÃO DOS BLOCOS CERAMICOS.....	36
TABELA 9 – RESISTÊNCIA DOS BLOCOS.....	40

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – PRODUÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA VERMELHA (10^9 PEÇAS).....	11
GRÁFICO 2 – TENSÃO X DEFORMAÇÃO.....	40
GRÁFICO 3 – TENSÃO NO ELEMENTO MAIS SOLICITADO X RESISTÊNCIA DO BLOCO.....	61

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – BLOCO CERÂMICO DE VEDAÇÃO COM FUROS NA HORIZONTAL	16
FIGURA 2 – BLOCO CERÂMICO DE VEDAÇÃO COM FUROS NA VERTICAL	16
FIGURA 3 – MALHA DE ELEMENTOS FINITOS	21
FIGURA 4 – DIAGRAMA TENSÃO X DEFORMAÇÃO DE MATERIAL DÚCTIL	24
FIGURA 5 – DIAGRAMA TENSÃO X DEFORMAÇÃO DE MATERIAL NÃO DÚCTIL	25
FIGURA 6 – RELAÇÃO ENTRE AS TENSÕES PRINCIPAIS PARA O CRITÉRIO DE MOHR-COULOMB	28
FIGURA 7 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO ABAQUS® – SIMULAÇÃO DE IMPACTOS	29
FIGURA 8 – SEQUÊNCIA DE MODELAÇÃO NO SOFTWARE ABAQUS®.....	29
FIGURA 9 – IDENTIFICAÇÃO DOS BLOCOS DE FURO CIRCULAR	37
FIGURA 10 – IDENTIFICAÇÃO DOS BLOCOS DE FURO QUADRADO	37
FIGURA 11 – APLICAÇÃO DE DESMOLDANTE E NIVELAMENTO DOS BLOCOS	38
FIGURA 12 – CAPEAMENTO DOS BLOCOS	38
FIGURA 13 – BLOCO CAPEADO	38
FIGURA 14 – SATURAÇÃO DOS BLOCOS	39
FIGURA 15 – POSICIONAMENTO DO BLOCO NA PRENSA	39
FIGURA 16 – FISSURAS NO BLOCO DE FURAÇÃO QUADRADA	41
FIGURA 17 – FISSURAS NO BLOCO DE FURAÇÃO CIRCULAR	41
FIGURA 18 – FISSURAS NO BLOCO DE FURAÇÃO CIRCULAR	42
FIGURA 19 – FISSURAS NO BLOCO DE FURAÇÃO QUADRADA	42
FIGURA 20 – NOMENCLATURA DAS DIMENSÕES	43
FIGURA 21 – GEOMETRIA DO MODELO	44
FIGURA 22 – CONDIÇÕES DE APOIO E CARREGAMENTO	45
FIGURA 23 – REFINAMENTO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS	45
FIGURA 24 – MODELO COM TENSÕES DISTRIBUIDAS	45
FIGURA 25 – DETALHE DOS PONTOS CRÍTICOS	46
FIGURA 26 – BLOCO R1	47
FIGURA 27 – BLOCO QMIN	47
FIGURA 28 – BLOCO QENSAIO	48
FIGURA 29 – BLOCO RENSAIO	48
FIGURA 30 – DIMENSÕES LIMITES DOS BLOCOS	49
FIGURA 31 – BLOCO P1	51
FIGURA 32 – BLOCO P2	51
FIGURA 33 – BLOCO P3	52
FIGURA 34 – BLOCO P4	52
FIGURA 35 – BLOCO P5	53
FIGURA 36 – BLOCO P6	53

FIGURA 37 – BLOCO P7	54
FIGURA 38 – BLOCO P8	54
FIGURA 39 – BLOCO P9	55
FIGURA 40 – BLOCO Q1	55
FIGURA 41 – BLOCO Q2.....	56
FIGURA 42 – BLOCO Q3.....	56
FIGURA 43 – BLOCO Q4.....	57
FIGURA 44 – BLOCO Q5.....	57
FIGURA 45 – BLOCO Q6.....	58
FIGURA 46 – BLOCO Q7.....	58
FIGURA 47 – BLOCO Q8.....	59
FIGURA 48 – BLOCO Q9.....	59
FIGURA 49 – BLOCO R2.....	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVO GERAL	10
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.3	JUSTIFICATIVA	10
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	11
2.1	A INDÚSTRIA CERÂMICA NO BRASIL	11
2.2	IMPACTOS AMBIENTAIS	12
2.2.1	<i>CO₂ e o Aquecimento Global</i>	12
2.2.2	<i>Emissão de CO₂ na construção civil</i>	13
2.2.3	<i>Emissão de CO₂ na produção e transporte de blocos cerâmicos</i>	13
2.3	NORMAS REGULAMENTADORAS	15
2.3.1	<i>NBR 15270:1 – Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos</i>	15
2.3.1.1	2.3.1.1 Forma.....	16
2.3.1.2	2.3.1.2 Dimensões de fabricação	16
2.3.1.3	2.3.1.3 Tolerâncias dimensionais	17
2.3.1.4	2.3.1.4 Espessura dos septos e paredes externas.....	18
2.3.1.5	2.3.1.5 Resistência à compressão (f_b)	18
2.3.2	<i>NBR 15270:3 – Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio</i>	19
2.3.2.1	2.3.2.1 Aparelhagem e instrumentação.....	19
2.3.2.2	2.3.2.2 Recebimento, preparação e acondicionamento dos corpos de prova.....	19
2.3.2.3	2.3.2.3 Procedimentos.....	19
2.3.2.3.1	2.3.2.3.1 Generalidades.....	19
2.3.2.3.2	2.3.2.3.2 Posição dos corpos de prova nos ensaios à compressão	20
2.3.2.3.3	2.3.2.3.3 Execução do Ensaio	20
2.3.2.3.4	2.3.2.3.4 Expressão dos resultados e relatório de ensaio	20
2.4	MÉTODOS APROXIMADOS	21
2.4.1	<i>Método dos Elementos Finitos</i>	21
2.5	RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS	22
2.5.1	<i>Tensão x Deformação</i>	23
2.5.2	<i>Critérios de Falhas</i>	25
2.6	MODELAGEM COMPUTACIONAL COM UTILIZAÇÃO DO ABAQUS®	28
2.6.1	<i>Características gerais do ABAQUS®</i>	29
2.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	30
2.7.1	<i>Amostragem</i>	30
2.7.2	<i>Média aritmética</i>	30
2.7.3	<i>Desvio padrão</i>	30
2.7.4	<i>Inspeção e aceitação (NBR 15270:1)</i>	31
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	32
3.1	ENSAIOS FÍSICOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	32
3.1.1	<i>Análise dimensional dos blocos</i>	32

3.1.2	<i>Capeamento dos blocos</i>	32
3.1.3	<i>Saturação dos blocos</i>	32
3.1.4	<i>Ensaio de compressão</i>	33
3.1.5	<i>Análise dos resultados</i>	33
3.2	MODELAGEM COMPUTACIONAL DE MODELOS BÁSICOS	33
3.2.1	<i>Definição da geometria do bloco a ser analisado</i>	33
3.2.2	<i>Definição do material</i>	33
3.2.3	<i>Definição da seção e aplicação das condições de contorno</i>	34
3.2.4	<i>Condições de contorno – carregamento e apoios</i>	34
3.2.5	<i>Definição da malha</i>	34
3.2.6	<i>Execução da análise</i>	34
3.2.7	<i>Visualização dos resultados</i>	34
3.2.8	<i>Análise dos resultados</i>	35
3.3	PROPOSTA DE NOVOS FORMATOS DE FUROS	35
3.3.1	<i>Modelagem de novas formas</i>	35
3.3.2	<i>Análise dos resultados</i>	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1	ENSAIOS FÍSICOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	36
4.1.1	<i>Análise dimensional dos blocos</i>	36
4.1.2	<i>Capeamento dos blocos</i>	37
4.1.3	<i>Saturação dos blocos</i>	39
4.1.4	<i>Ensaio de compressão</i>	39
4.1.5	<i>Análise dos resultados</i>	40
4.2	MODELAGEM COMPUTACIONAL DE MODELOS BÁSICOS	43
4.2.1	<i>Definição da geometria do bloco a ser analisado</i>	43
4.2.2	<i>Definição dos dados de entrada, condições de contorno e definição da malha</i>	43
4.2.3	<i>Resultados das análises computacionais</i>	46
4.2.4	<i>Análise dos resultados</i>	49
4.3	PROPOSTA DE NOVOS FORMATOS DE FUROS	49
4.3.1	<i>Modelagem de novas formas</i>	49
4.3.2	<i>Análise dos resultados</i>	50
4.3.3	<i>Análise para os blocos propostos</i>	60
5	CONCLUSÃO	62
6	SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	63
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

O conforto do ser humano tem sido uma preocupação constante no desenvolvimento de materiais e produtos que se aplicam à construção civil. As adequações dos espaços destinados à vivência demandam a busca por produtos e inovações que tornem os ambientes melhor adaptados e que não descartem as premissas de melhor uso das matérias primas, consumo energético e diminuição de custos.

O setor da construção civil utiliza-se de técnicas e materiais que se tornaram populares mediante o uso empírico dos mesmos. Antigamente esforços eram focados basicamente nos objetivos finais, hoje as preocupações abrangem inclusive o desenvolvimento e aprimoramento das técnicas construtivas.

Por vezes os estudos nesta área são realizados de forma a buscar produtos inovadores, ou máquinas que aumentem a produção, mas existe também uma real necessidade de se melhorar as técnicas e produtos que são utilizados pela maior parte do setor.

O material de construção básico de uma obra em território brasileiro é o tijolo cerâmico composto de argila que é produzido há séculos e praticamente da mesma maneira. Por se tratar de material de baixo valor, os gastos em desenvolvimento tecnológicos não são relevantes, pois representariam um pequeno incremento no valor agregado do produto.

Atualmente a questão “sustentabilidade”, vem sendo discutida e aplicada cada vez mais no setor da construção civil. O desenvolvimento social, econômico e ambiental tem sido fatores decisivos no quesito competitividade entre as empresas do setor. Além disso, são fatores decisivos no processo de gestão da qualidade de uma obra.

Com o setor da informática em constante desenvolvimento, é imprescindível que novas tecnologias voltadas para a produção de sistemas computacionais com alto poder de resolução de problemas complexos voltados para a engenharia sejam mais exploradas e utilizadas para resolver uma vasta gama de problemas que variam desde simplificados até complexos.

É com auxílio de ferramentas como programas de modelagem computacional, baseado no Método dos Elementos Finitos (MEF), que este trabalho tenta propor o desenvolvimento de novos formatos geométricos para os furos dos blocos cerâmicos de vedação, utilizando-se das tecnologias disponíveis no mercado e também baseado em análises das simulações numéricas, visando um aumento de resistência do elemento, e conseqüente redução no consumo de matéria prima para produção do bloco.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é otimizar a geometria dos furos de blocos cerâmicos de vedação, por meio de modelagem computacional dos mesmos e ensaios físicos de resistência à compressão. O tipo de geometria otimizado deve obter uma maior resistência mecânica à compressão que os blocos de furação circular e quadrada, ou uma menor área líquida de seção transversal, se estabelecido como limite a resistência dos blocos de comparação (furação circular e quadrada).

1.2 Objetivos Específicos

Para a obtenção do objetivo geral, deve-se primeiro obter os objetivos específicos que são:

- Pesquisar sobre o MEF;
- Estudar a utilização do programa ABAQUS[®];
- Realizar um estudo detalhado sobre o comportamento de blocos cerâmicos com furação quadrada e circular;
- Realizar a modelagem e simulação computacional de ensaios dos blocos com furos de geometria circular e quadrado bem como dos blocos propostos (novas geometrias).

1.3 Justificativa

A necessidade de reduzir o impacto ambiental causado por subprodutos da construção civil, no Brasil vem sendo abrangentemente alvo de diversas pesquisas e estudos relacionados ao consumo de matéria prima utilizada para a fabricação de produtos deste segmento. Integrando mudanças das formas geométricas dos furos dos blocos cerâmicos com os parâmetros mínimos estabelecidos por norma, como resistência, espaçamento entre furos e faces, faz com que o estudo em questão incorpore tecnologia e inovação na forma de produção dos blocos cerâmicos de vedação, aumentando-se a resistência à compressão dos mesmos, quando empregados na horizontal (furação na longitudinal), além de agregar valor ao produto final, focando a sustentabilidade, cada vez mais discutida pelo setor.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A indústria cerâmica no Brasil

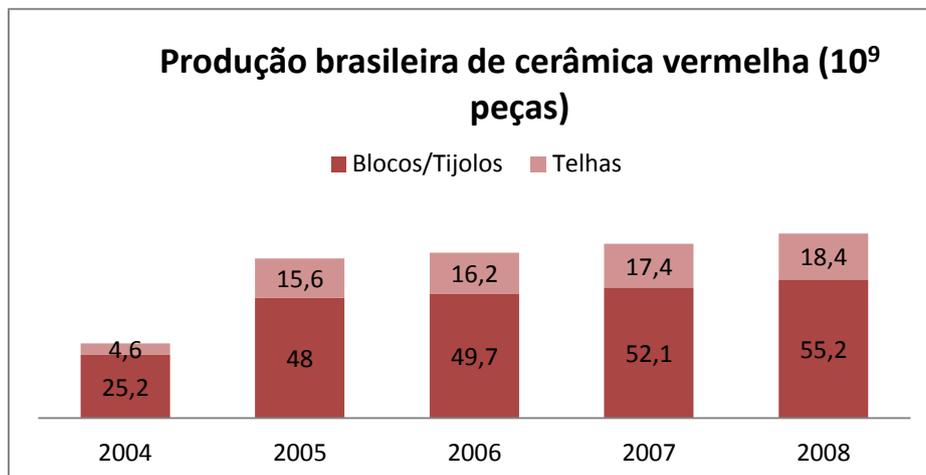
A indústria cerâmica brasileira movimentava cerca de 60.000.000 de toneladas de matéria prima por ano. No Brasil existem cerca de 11.000 unidades produtivas no ramo cerâmico, responsáveis pela produção de tijolos de vedação, blocos estruturais, telhas, entre outros. Essas unidades distribuem-se pelo país inteiro, geralmente em micro e pequenas empresas, gerando cerca de 300.000 empregos (CERÂMICA INDUSTRIAL, 2000).

A produção de peças cerâmicas varia de acordo com a região estudada, a produtividade média do segmento oleiro-cerâmico brasileiro é de cerca de 15 mil peças/operário x mês. A produção mensal média por empresa gira em torno de 1,3 milhão de peças. O consumo de energia elétrica do setor é da ordem de 113 milhões kWh/mês e o consumo de lenha e resíduos vegetais é da ordem de 588 m³/empresa x mês (Anuário Brasileiro de Cerâmica Vermelha, 2009).

Levando em consideração apenas a produção regional de cerâmica vermelha, o sudeste contribui com 44,4%, o Nordeste com 21,3%, valor semelhante à região sul. Esses valores são estimativas do Departamento de Tecnologia e Transformação Mineral – DTTM da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM e do Ministério das Minas e Energia MME, para 2008.

Na Tabela 1, é possível observar a produção nacional de peças cerâmicas nos anos de 2004, 2005, 2006, 2007 e 2008.

Gráfico 1 – Produção brasileira de cerâmica vermelha (10⁹ peças)



Fonte: Adaptado de Anuário Brasileiro de Cerâmica/ANICER (2009).

Tabela 1 – Produção brasileira de cerâmica vermelha (10⁹ peças)

Produtos	2004	2005	2006	2007	2008
Blocos/Tijolos	25,2	48	49,7	52,1	55,2
Telhas	4,6	15,6	16,2	17,4	18,4
Total	29,8	63,6	65,9	69,5	73,7

Fonte: Adaptado de Anuário Brasileiro de Cerâmica/ANICER (2009).

2.2 Impactos Ambientais

Devido à exploração exagerada dos recursos naturais o meio ambiente passa por sérios problemas como: desastres ambientais, aquecimento global, efeito estufa, extinção de espécies animais e vegetais (STACHERA; CASAGRANDE, 2007).

De acordo com Gardener (2001), se as atividades de exploração mineral não forem feitas adequadamente, ocorrerá a destruição de toda a vegetação, alterando radicalmente o ecossistema do local. Esse tipo de problema não se restringe apenas ao local de origem, mas irá refletir em outros sistemas.

A extração de argila causa um grande impacto ambiental negativo, causando um dano à qualidade dos fatores ambientais. Esses fatores são: Poluição do solo, poluição do ar, desmatamento da vegetação nativa, entre outros. (KOPENZINSKI; 2000).

O processo de fabricação de blocos cerâmicos usados na construção civil contribui para o aumento da emissão de CO₂ para a atmosfera, o que influencia em grande parte para agravar o efeito estufa, que hoje é um problema ambiental amplamente debatido.

2.2.1 CO₂ e o Aquecimento Global

Dióxido de carbono (CO₂) é o principal composto resultante da combustão completa de combustível e de outros materiais que possuem carbono. Um dos principais causadores do efeito estufa é a queima de combustíveis fósseis, que geralmente contribuem com 90% das emissões. A fabricação de alguns materiais como o bloco cerâmico, cimento, materiais em PVC, que são usados na construção civil, contribuem em grande parte na emissão de dióxido de carbono para a atmosfera. Existe uma grande preocupação em controlar essas emissões, pois conseguindo diminuir a quantidade de CO₂ emitida, consegue-se também minimizar os impactos ambientais (VENKATARAMA E JAGADISH, 2003).

De acordo com Roodman (1995), a quantidade de dióxido de carbono emitida aumentou em aproximadamente 27% no últimos cem anos.

Segundo Bueno (2005), o aquecimento global é um fenômeno causado pela retenção de calor acima do nível considerado normal. Pesquisadores do mundo inteiro estudam as consequências e os efeitos desse fenômeno na atmosfera. Algumas das consequências são: aumento da temperatura no mundo, crescimento e surgimento de desertos e aumento do nível dos oceanos.

2.2.2 Emissão de CO₂ na construção civil

Segundo Casagrande (2007), as indústrias da construção civil brasileira e mundial contribuem em grande parte para a emissão de CO₂, e por consequência disto agravam-se os impactos ambientais.

A fabricação de materiais de construção é uma das principais fontes de gases poluentes. A indústria de cimento é a maior emissora de dióxido de carbono, a fabricação de cimento é responsável por pelo menos 5% de todo o CO₂ emitido na atmosfera. (MARLAND, 2007). Os principais materiais que contribuem para a emissão de CO₂ são: cimento, cal, aço, cerâmica, PVC, areia e brita. Não é apenas a fabricação de materiais que agrava o efeito estufa, mas também a retirada da matéria prima na natureza (JOHN, 1999).

Segundo Shuzo (2005), 7,8% do total de CO₂ emitido no Japão é devido a construção civil. No Reino Unido as emissões representam 4% (SMITH et al, 2002). Na Índia o ramo de construção é responsável por 17% do total das emissões (TIWARI et al, 1996).

2.2.3 Emissão de CO₂ na produção e transporte de blocos cerâmicos

Segundo Bauer (1994) as principais etapas de produção dos blocos cerâmicos são:

- Extração da Argila: deve ser escolhido o tipo de argila ideal para a fabricação de blocos cerâmicos, com as composições granulométricas e umidade ideais, geralmente sem a presença de carbonatos calcários.
- Preparo da matéria prima: nesta etapa é preferível que sejam eliminadas impurezas grosseiras e partículas orgânicas. Depois disso, a massa vai para a maceração, que é feita para obter grãos mais finos e assim aumentar a plasticidade da massa. Por fim ocorre o amassamento, que prepara a argila para a próxima etapa que é a moldagem.
- Moldagem: processo de extrusão para dar forma à pasta.

- Secagem: serve para eliminar uma parcela de água remanescente na peça.
- Queima: pode ser feito em fornos contínuos ou descontínuos, geralmente são utilizados lenhas e serragem como combustível. A temperatura varia entre 900°C e 1000°C.
- Resfriamento.

Cybis e Santos (2000) afirmam que na queima da lenha são eliminados altas taxas de dióxido de carbono, assim como CO, NO₂ e etc. Mas não é apenas no processo de produção do bloco cerâmico que são emitidos altas quantidades de CO₂, há uma grande emissão no transporte das cerâmicas até os depósitos e locais de aplicações (GRIGOLELLI, SATTLER; 2003).

De acordo com Grigoletti e Sattler (2003), a utilização de lenha como combustível para a queima de blocos cerâmicos é um ponto positivo, já que a lenha é um material renovável. Pode ser feita uma plantação local de árvores, colaborando assim para a assimilação do dióxido de carbono emitido pela queima das lenhas para a produção dos blocos. Nos estados do Paraná e do Rio Grande do Sul, cerca de 90% da energia consumida para a queima dos blocos vem de lenhas e serragem.

Segundo o Relatório Parcial I/IV (2002) do setor cerâmico, realizado no estado de Santa Catarina, a produção brasileira de cerâmica utilizou em seus processos cerca de 8.000 ha de Eucaliptos, o que equivale a aproximadamente 1.400.000 m³/ano. Entre a utilização de lenha e serragem para a queima de blocos, o combustível mais comum visto nas olarias, principalmente no estado de Santa Catarina, é a lenha.

Levando em consideração apenas a quantidade de dióxido de carbono emitida pelo transporte das peças cerâmicas, Costa et.al.(2005) afirmam que a maior fonte de emissão de gases tóxicos é feita por veículos automotores. Esse tipo de veículo é responsável por quase 40% da poluição total do ar. Estima-se que a emissão de CO₂ irá crescer á uma taxa de 2,5% ao ano nos próximos 12 anos. De acordo com Alvares e Linke (1999), o valor que relaciona a quantidade de CO₂ gerada por quilômetro rodado é de 770 g/km, isso para veículos de porte pesados com a utilização de diesel como combustível. E para Vito (2001) há uma emissão de 0,02 a 0,07 toneladas de CO₂ por tonelada transportada.

Na Tabela 2 podem-se observar os valores de CO₂ emitidos no processo de produção dos blocos cerâmicos. Foram utilizados três diferentes referências.

Tabela 2 – Emissão de CO₂ na produção de blocos cerâmicos

Autores	emissão de CO ₂
CYBIS e SANTOS (2000)	1m ² de alvenaria produz 136,4 kg de CO ₂
Cruz et Al (2003)	1m ² de alvenaria produz 29 kg de CO ₂
IDD - Institut Wallon (2001)	1 tonelada de blocos cerâmicos produz 160 kg de CO ₂

Fonte: Cybis (2000), Cruz (2003), IDD (2001)

2.3 Normas Regulamentadoras

As normas regulamentadoras têm por objetivo estabelecer parâmetros e requisitos sobre uma determinada ação ou produto.

Comercialmente, quando há informações sobre as características mecânicas dos blocos, como resistência à compressão, por exemplo, os fabricantes acabam indicando os valores mínimos estabelecidos por norma, no caso 1,5 MPa para blocos cerâmicos de vedação, segundo NBR 15270:1, com utilização dos blocos, com furos na horizontal;

No entanto verificou-se, segundo estudo do INMETRO, divulgado em uma emissora de TV, e também disponibilizado no site do instituto, aba de informações ao consumidor, que quando se trata de resistências à compressão dos blocos cerâmicos de vedação (tijolos), que cerca de 75% por cento das marcas analisadas apresentaram resistências à compressão inferiores às resistências estabelecidas por norma. O estudo em questão, analisado pelo INMETRO, se enquadra no Programa de Análise de Produtos desenvolvido pelo próprio instituto.

2.3.1 NBR 15270:1 – Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos

Esta norma tem como objetivo principal determinar os parâmetros físicos, mecânicos e dimensionais dos blocos cerâmicos para alvenaria de vedação. A NBR 15270:1 (2005) apresenta os requisitos gerais em relação à forma e dimensões de fabricação, apresentando também alguns requisitos específicos como tolerâncias dimensionais, espessura dos septos e paredes externas e resistência à compressão.

2.3.1.1 2.3.1.1 Forma

Conforme a NBR 15270:1 (2005), o bloco cerâmico de vedação deve possuir a geometria de acordo com as figuras 1 e 2, sempre possuindo uma forma de um prisma reto.

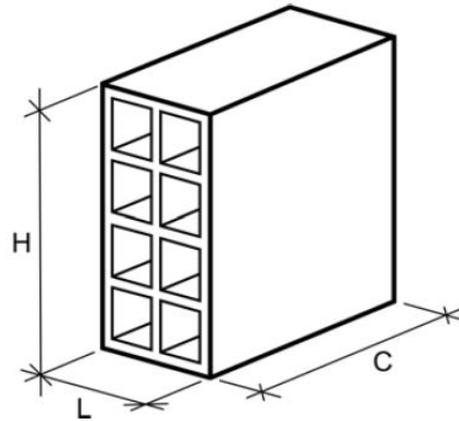


Figura 1: Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal

Fonte: NBR 15270:1 (2005)

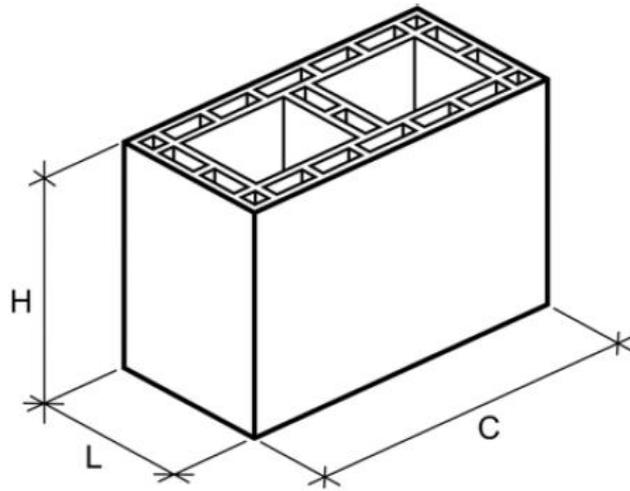


Figura 2: Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical

Fonte: NBR 15270:1 (2005)

2.3.1.2 Dimensões de fabricação

Na Tabela 3 estão indicadas as principais dimensões de fabricação de blocos cerâmicos de vedação.

Tabela 3 – Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos de vedação

Dimensões L x H x C Módulo Dimensional M = 10 cm	Dimensões de fabricação cm			
	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)	
			Bloco principal	1/2 Bloco
(1) M x (1) M x (2) M	9	9	19	9
(1) M x (1) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (3/2) M x (2) M		14	19	9
(1) M x (3/2) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (3/2) M x (3) M			29	14
(1) M x (2) M x (2) M		19	19	9
(1) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (2) M x (3) M			29	14
(1) M x (2) M x (4) M			39	19
(5/4) M x (5/4) M x (5/2) M	11,5	11,5	24	11,5
(5/4) M x (3/2) M x (5/2) M		14	24	11,5
(5/4) M x (2) M x (2) M		19	19	9
(5/4) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(5/4) M x (2) M x (3) M			29	14
(5/4) M x (2) M x (4) M	14	19	39	19
(3/2) M x (2) M x (2) M			19	9
(3/2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(3/2) M x (2) M x (3) M			29	14
(3/2) M x (2) M x (4) M			39	19
(2) M x (2) M x (2) M	19	19	19	9
(2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(2) M x (2) M x (3) M			29	14
(2) M x (2) M x (4) M			39	19
(5/2) M x (5/2) M x (5/2) M	24	24	24	11,5
(5/2) M x (5/2) M x (3) M			29	14
(5/2) M x (5/2) M x (4) M			39	19

Fonte: NBR 15270:1 (2005)

2.3.1.3 Tolerâncias dimensionais

Nesta Norma, estão indicadas dois tipos de tolerância: tolerâncias relacionadas às medições individuais e tolerâncias relacionadas à média, estas estão indicadas nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Tolerâncias dimensionais individuais relacionadas à dimensão efetiva

Grandezas controladas	Tolerância individual
	mm
Largura (L)	5
Altura (H)	
Comprimento (C)	

Fonte: NBR 15270:1 (2005)

Tabela 5 – Tolerâncias dimensionais relacionadas à média das dimensões efetivas

Grandezas controladas	Tolerância individual
	mm
Largura (L)	3
Altura (H)	
Comprimento (C)	

Fonte: NBR 15270:1 (2005)

2.3.1.4 Espessura dos septos e paredes externas

A NBR15270:1 define que a espessura dos septos e paredes externas devem ser no mínimo 6 mm e 7 mm respectivamente.

2.3.1.5 Resistência à compressão (f_b)

Os limites dos valores de resistências à compressão dos blocos cerâmicos estão indicados na tabela 6.

Tabela 6 – Resistência à compressão (f_b)

Posição dos furos	f_b MPa
Para blocos usados com furos na horizontal (figura 1)	$\geq 1,5$
Para blocos usados com furos na vertical (figura 2)	$\geq 3,0$

Fonte: NBR 15270:1 (2005)

2.3.2 NBR 15270:3 – Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio

O Anexo C da NBR 15270:3, tem como objetivo descrever o método de ensaio de resistência à compressão dos blocos estruturais e de vedação.

2.3.2.1 Aparelhagem e instrumentação

Para a execução do ensaio de resistência à compressão, deve-se ter uma prensa que assegure a distribuição uniforme dos esforços no bloco a ser ensaiado (NBR 15270:3, 2005).

2.3.2.2 Recebimento, preparação e acondicionamento dos corpos de prova

De acordo com a NBR 15270:3 (2005), os corpos de prova devem ser recebidos, limpos, identificados e se possível colocados em um ambiente protegido.

2.3.2.3 Procedimentos

2.3.2.3.1 Generalidades

Segundo a NBR 15270:3 (2005), há alguns pontos principais a serem feitos para a realização do ensaio, esses pontos são:

- Medir a largura, altura e comprimento dos blocos a serem ensaiados;
- Deve ser utilizado pasta de cimento ou argamassa para a regularização das faces;
- A superfície onde será feito o capeamento não deve se afastar do plano mais que 0,8 mm para cada 400 mm;
- O capeamento deve ser estar uniforme;
- A espessura do capeamento não deve ultrapassar 3 mm.

2.3.2.3.2 Posição dos corpos de prova nos ensaios à compressão

Todos os corpos de prova a serem ensaiados devem receber as cargas na direção do esforço que o bloco irá receber durante o seu real emprego, ou seja, sempre perpendicular ao comprimento e na face destinada ao assentamento (NBR 15270:3, 2005).

2.3.2.3.3 Execução do Ensaio

De acordo com a NBR 15270:3 (2005), a execução do ensaio de resistência à compressão deve seguir os seguintes passos:

- Os blocos devem estar na condição saturada de água, assegurando os ensaios em condição frequente de fragilidade;
- Todos os blocos devem ser ensaiados com a carga sendo aplicada perpendicularmente;
- Os blocos devem ser colocados na prensa com o seu centro de gravidade no eixo de carga;
- A tensão deve ser aplicada progressivamente, em razão de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s.

2.3.2.3.4 Expressão dos resultados e relatório de ensaio

Segundo a NBR 15270:3 (2005), o relatório de ensaio à compressão deve conter:

- Identificação da empresa solicitante;
- Identificação dos corpos de prova e da amostra;
- Data que foi recebida a amostra;
- Data da realização do ensaio;
- Valor médio das dimensões dos blocos;
- Desenho de como os blocos foram ensaiados;
- Resistência à compressão de cada bloco;
- Valor de referência da resistência;
- Referência NBR 15270;
- Registros sobre eventos inesperados enquanto o ensaio estava sendo realizado.

2.4 Métodos Aproximados

A discussão dos métodos utilizados para a resolução de modelos matemáticos complexos é discutida por diversos autores. Para Assan (2003), existem dois principais métodos, o primeiro deles são os variacionais, e o segundo são o dos resíduos ponderados, onde a partir deste último originou-se o sistema de resolução através de modelos discretos conhecido como método dos elementos finitos.

Em virtude de auxiliar a resolução das equações diferenciais complexas presentes nos problemas de engenharia, quando as soluções analíticas não são possíveis, a utilização dos métodos aproximados podem oferecer resultados satisfatórios.

2.4.1 Método dos Elementos Finitos

Segundo Hutton (2004) o MEF, como é conhecido o método dos elementos finitos, é uma técnica de cálculo utilizado para obter soluções aproximadas de problemas complexos de engenharia e consiste na discretização de um problema real através de hipóteses simplificadoras em problemas mais simples, onde o problema matemático em que uma ou mais variáveis dependentes, devem satisfazer as equações diferenciais em todos os lugares dentro de um domínio conhecido (modelo contínuo).

O método comumente utilizado prevê a divisão do domínio de integração, contínuo, em um número finito de pequenas regiões denominadas elementos finitos, ou subdomínios, tornando o meio contínuo em discreto. A figura 3 (ASSAN, 2003) mostra o conjunto de elementos finitos.

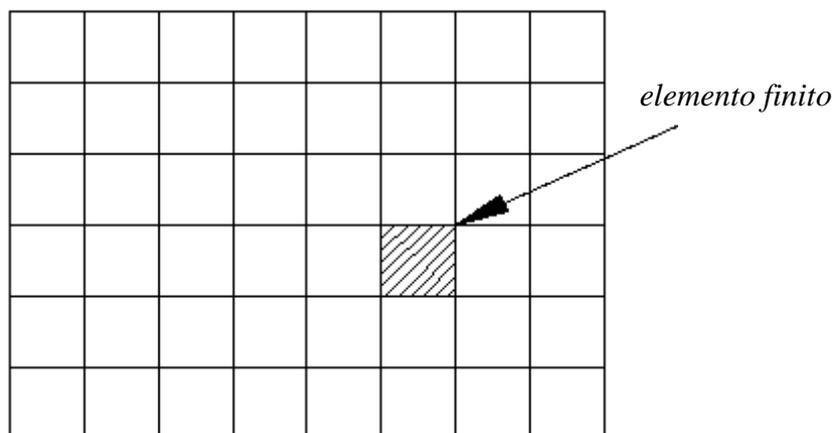


Figura 3: Malha de elementos finitos.

Segundo Assan (2003), a divisão do domínio em pequenos elementos se dá o nome de malha de elementos finitos. A malha desse reticulado pode ser aumentada ou diminuída variando o tamanho dos elementos finitos. Os pontos de intersecção das linhas dessa malha são chamados de nós.

Ao invés de resolver o problema para todo o domínio contínuo, no MEF o problema é resolvido para um conjunto discreto de subdomínios “elementos finitos” (ASSAN, 2003).

A partir dessas considerações torna-se possível analisar os valores dos parâmetros nodais, que podem ser deslocamentos, forças internas, ou ambos, dependendo da formulação do MEF que se utiliza (ASSAN, 2003).

Como elementos finitos, podemos encontrar diversos tipos, tais como: elementos de cascas, de vigas, de membranas, elementos sólidos, entre outros, onde estes elementos podem originar outros, como no caso de elementos de cascas, utilizado para se modelar placas perfeitas e imperfeitas, membranas finas entre outros.

O estudo em questão se baseará na modelagem de elementos sólidos, que melhor representam o problema proposto.

2.5 Resistência dos Materiais

A resistência dos materiais de maneira geral é explorada pelas mais diversas áreas da engenharia.

Para Hibbeler (2004), o estudo da resistência dos materiais em suas diversas aplicações se resume na análise e estudo das relações internas e externas referentes a seus esforços respectivos.

O uso deste estudo é extremamente importante quando a questão trata de segurança, conforto e confiabilidade, as premissas básicas de um bom projeto estrutural.

Segundo Hibbeler (2004), para projetar qualquer tipo de estrutura ou equipamento, é necessário se fazer conhecido o estudo da Estática, no que diz respeito aos esforços atuantes nos elementos constituintes do objeto de análise em questão, tanto internos, quanto externos, e assim aplicar os conhecimentos pertinentes à resistência dos materiais para se obter uma estrutura estável.

2.5.1 *Tensão x Deformação*

A relação *Tensão x Deformação*, é um quesito muito explorado pelo campo da engenharia quando a mesma trata da elaboração, estudo ou pesquisa, relacionada aos elementos estruturais em questão, e principalmente dos materiais constituintes destes elementos.

Segundo Beer e Johnston (1996) com base na análise das deformações provocadas por determinados carregamentos, é possível se determinar as tensões atuantes no corpo. Para Hibbeler (2004), a obtenção da relação tensão x deformação, só é possível por meio de estudos práticos, que medem as deformações e associam a estas, valores de tensões aplicadas a um corpo, para se chegar a tal resultado.

O gráfico Tensão x Deformação, mostrado na figura 4, traça a tensão aplicada à um elemento, e a deformação por ele resultada. Por questões didáticas, a figura 4 não apresenta a relação real obtida nos experimentos, mas sim um gráfico que tenta destacar quatro fases principais, para um material dúctil.

A primeira fase é chamada a fase de regime elástico, onde indica que se o carregamento for interrompido, ou seja, houver uma redução da tensão aplicada ao corpo de prova, o mesmo retornará à sua forma original.

A segunda fase do diagrama indica a fase de regime plástico, onde a partir de um limite, chamado de limite de proporcionalidade, que define o limite da primeira fase, indica que o corpo de prova começa a receber deformações permanentes, ou características de escoamento do material, onde o descarregamento da carga aplicada ao corpo, fará com que o corpo não volte mais ao seu estado inicial de deformação.

A terceira fase, caracterizada pelo encruamento do material, é definida até o limite de resistência, ou seja até a última resistência que o material admite antes de começar a estriccionar-se, como o próprio nome diz, após este ponto, o material começa a reduzir sua secção transversal, de maneira localizada. Esta última etapa é conhecida como a fase de estricção do material, a partir daí o material rompe-se após atingir a tensão de ruptura.

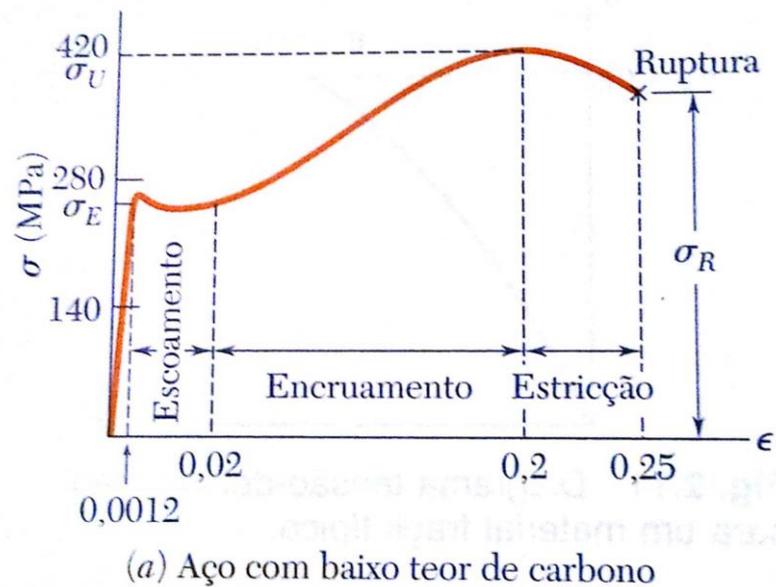


Figura 4: Diagrama *Tensão x Deformação*, de material dúctil típico.

Fonte: BEER e JOHNSTON, 1996.

Segundo Hibbeler (2003), o digrama *Tensão x Deformação* é muito importante na engenharia, pois permite determinar a resistência dos materiais, relacionados tanto aos esforços de tração quanto aos de compressão, sem considerar a geometria do corpo de prova, interessando assim, somente o tipo de material ensaiado.

Por meio deste estudo, é possível conhecer o comportamento e algumas características dos diversos materiais que se possa imaginar, sendo assim, destaca-se a importância de alguns destes materiais para utilização em elementos estruturais que se possa desejar.

No caso de materiais não dúcteis (concreto, ferro fundido, vidro, pedra, entre outros), também chamados de materiais frágeis, não existe segundo Beer e Johnston (1996) uma mudança sensível no modo de deformação destes materiais como mostrado no gráfico da figura 5.

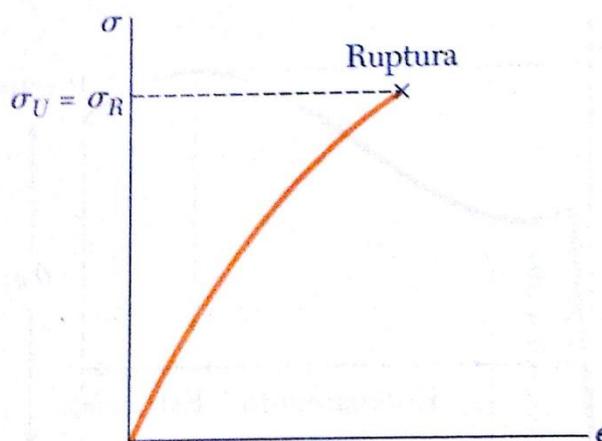


Figura 5: Diagrama *Tensão x Deformação* de material não dúctil.

Fonte: BEER e JOHNSTON, 1996.

Segundo Beer e Johnston (1996), em comparação com os materiais dúcteis, é possível se verificar também, que nos materiais frágeis, a deformação até o estado de ruptura do material é muito menor.

A fase da estricção, ocorrida nos materiais dúcteis, também não é identificada nos materiais frágeis, quando comparando-se com o gráfico da figura 4 (BEER e JOHNSTON, 1996).

2.5.2 Critérios de Falhas

Ao analisar os métodos disponíveis para a resolução de problemas submetidos à ensaios de caracterização física do material, como os ensaios de resistência mecânica a compressão por exemplo, ou seja, ensaios uniaxiais, é importante adotar o melhor método de análise, com base nas características de cada material sejam eles dúcteis ou frágeis.

Entende-se por falha de um material dúctil, o momento em que este atinge seu patamar de escoamento. Com relação aos materiais classificados como frágeis, o critério de falha mais comum é a fratura frágil (BEER e JOHNSTON, 1996).

No caso de materiais frágeis, segundo Beer e Johnston (1996), as falhas tendem a ocorrer subitamente sem anúncio prévio de escoamento do material, ou seja, a ruptura do material ocorre sem grandes deformações, como no caso dos materiais dúcteis. Normalmente, a falha em materiais frágeis ocorre quando a tensão solicitante atinge a

tensão crítica do material, ou seja, seu limite de resistência, se considerado no mesmo plano de tensões.

Dentre os vários critérios disponíveis para a avaliação e resolução de problemas que envolvam os critérios de falhas, destacam-se quatro principais, os quais estão divididos em dois grupos: Critérios para falhas de materiais dúcteis e critérios para falha de materiais frágeis. Para os materiais dúcteis, destacam-se na literatura os critérios da Tensão de Cisalhamento Máxima, (ou também conhecido como critério de Tresca), e também o critério da Energia de Distorção Máxima, (também conhecido como critério de Von Mises).

Para os materiais classificados como frágeis, destacam-se outros critérios principais: Critério da Tensão Normal Máxima, Critério de Falha de Mohr e também o Critério da Falha de Mohr-Coulomb.

A definição do melhor critério a ser adotado, deve levar em conta, além da classificação do material (dúctil ou frágil), as condições de contorno dos mesmos, a homogeneidade do material estudado e também os dados de ensaios físicos disponíveis.

De acordo com Beer e Johnston (1996), o Critério da Tensão Normal Máxima é dificilmente utilizado, pois leva em consideração uma limitação importante a qual o critério em questão é baseado na hipótese de que o limite de resistência do material é o mesmo em tração e em compressão. Assim constatou-se que para os estudos em cerâmicas, mais especificamente em relação aos blocos cerâmicos, este modelo deixa de ser válido, uma vez que foi verificada que a resistência de tração é muito menor que a resistência à compressão para os blocos, possivelmente ocasionada pela presença de micro-fissuras, grãos de areia, porosidade, entre vários outros fatores que podem influenciar nas resistências destes.

O Critério de Mohr é amplamente utilizado quando se tem disponíveis vários tipos de ensaios para determinado material. Ensaios que definem as tensões suportadas por um determinado material podem ser utilizados como parâmetros para a utilização deste método.

O Critério de Mohr-Coulomb, conhecido também como Teoria do Atrito Interno, pode ser considerado uma técnica mais simplificada do critério de Mohr, pois necessita de parâmetros que podem ser calculados com facilidade quando se dispõe de poucos dados de ensaios físicos.

De acordo com Chen (2007), o Critério de Mohr-Coulomb considera que a tensão de cisalhamento do material $|\tau|$ pode ser expressa em função das tensões principais σ ,

ângulo de atrito ϕ e tensão de coesão c do material. A equação (1) expressa a relação entre os principais parâmetros definidos pelo critério de Mohr-Coulomb.

$$|\tau| = c - \sigma \tan \phi \quad (1)$$

Segundo Chen (2007), em casos específicos em que o ângulo de atrito do material se iguala a zero, ou pode ser considerado desprezível, a equação de Mohr-Coulomb poderá ser reduzida para, $|\tau| = c$, esta equação resume o critério de Tresca.

A equação (1) define de maneira geral a reta tangente do círculo de Mohr, definido para os ensaios característicos do material em função das tensões principais. Esta reta pode ser considerada como a envoltória de tensões para o devido material estudado, que define a região em que o material poderá ser solicitado “seguramente”, ou de maneira geral, onde não ocorrerá a falha do material. A figura 6 representa a envoltória de tensões, e principais parâmetros definidos pelo critério de Mohr-Coulomb.

As principais características do critério de Mohr-Coulomb, segundo Chen (2007), é a facilidade de se obter por meio de relações de dependências, praticamente todos os parâmetros utilizados pelo método, com base em apenas duas variáveis dentre estes parâmetros, ou seja, com base em qualquer par ordenado a seguir, $(c; \phi)$, $(f'_c; f'_t)$, $(f'_c; \phi)$, etc., é possível se obter todos os demais parâmetros necessários para a análise dos resultados.

Em que:

c : tensão de coesão do material

ϕ : ângulo de atrito do material

f'_c : resistência a compressão do material

f'_t : resistência a tração do material

m : relação entre as resistências de compressão e a tração, respectivamente.

De acordo com Chen (2007), são comumente utilizados os parâmetros da resistência à compressão (f'_c) de um determinado ensaio físico, juntamente com o coeficiente m , cuja equação (2) expressa resumidamente os parâmetros que definem o valor para o coeficiente m em questão.

$$m = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \frac{f'_c}{f'_t} \quad (2)$$

A equação (3) em que $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$, de maneira geral resume a equação (1). As equações (4) e (5), definem o cálculo da resistência à compressão f'_c e da resistência à tração f'_t , respectivamente.

$$\frac{\sigma_1}{f't} - \frac{\sigma_3}{f'c} = 1 \quad (3)$$

$$f'c = \frac{2c \cos \phi}{1 - \sin \phi} \quad (4)$$

$$f't = \frac{2c \cos \phi}{1 + \sin \phi} \quad (5)$$

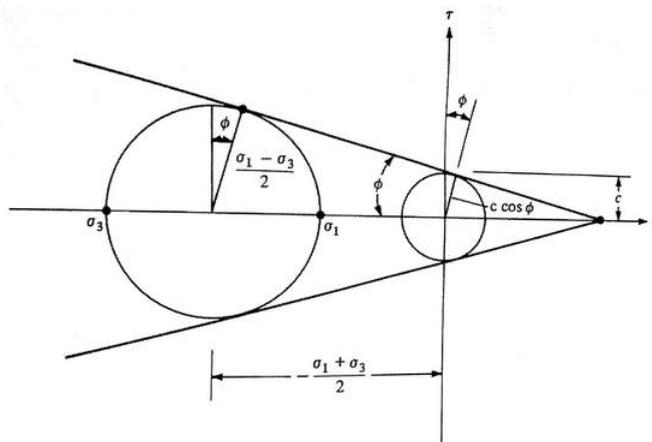


Figura 6: Relação entre as tensões principais para o critério de Mohr-Coulomb.

Fonte: Chen (2007)

2.6 Modelagem Computacional com utilização do ABAQUS[®]

Atualmente no mercado, é possível encontrar vários tipos de programas computacionais que funcionam como uma excelente ferramenta para análise de problemas de engenharia.

Os problemas de análise estrutural, mecânica e Física são os principais modelos a serem trabalhados por estes programas.

No presente trabalho foi utilizado o programa ABAQUS[®]. Este programa, baseado no MEF, executa análises de problemas estruturais avançados, lineares e não lineares, que permitem a solução de problemas complexos (SOUZA, 2001).

Na figura 7, temos um modelo de aplicação do programa, mostrando uma simulação de impacto, ao longo do tempo sobre um elemento de placa.

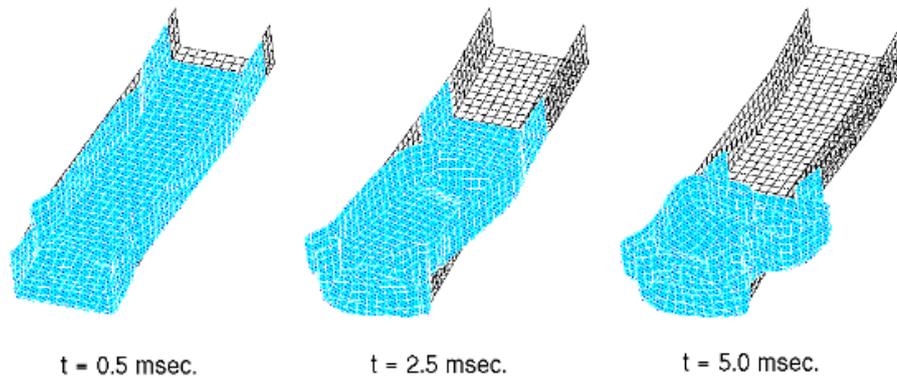


Figura 7: Exemplo de Aplicação do ABAQUS[®] – Simulação de Impactos
Fonte: SOUZA (2001, pg.103)

2.6.1 Características gerais do ABAQUS[®]

O ABAQUS[®] é um programa que consiste de vários módulos. Pré-processador, processador e pós-processador.

A Figura 8 representa de maneira geral, a sequência de passos utilizados tanto para a modelagem do trabalho proposto, utilizando-se o programa ABAQUS[®], quanto a sequência adotada por praticamente todos os programas de modelagem computacional baseados no MEF.

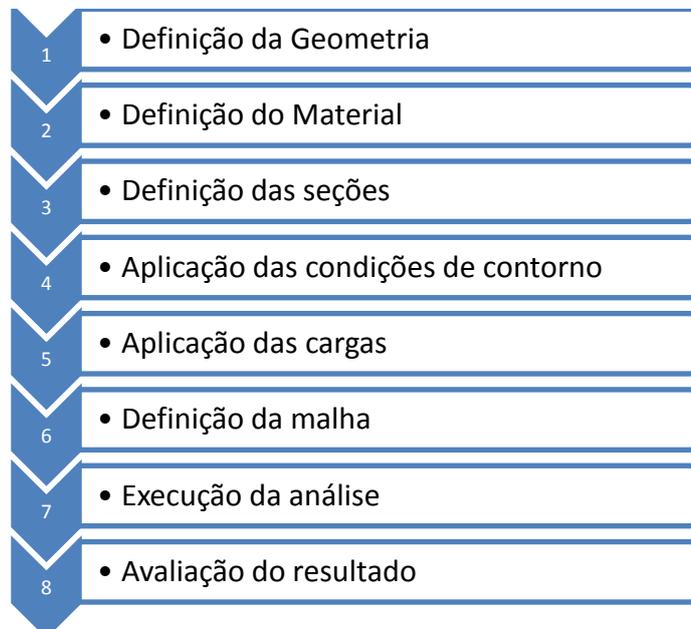


Figura 8: Sequência de modelação no software ABAQUS[®]

Fonte: PALERMO e MUANIS

2.7 Análise Estatística

A estatística é um ramo da matemática aplicada, utilizada para se trabalhar com dados e elementos de pesquisa. Consiste em uma série de passos, iniciando pela coleta dos dados que devem ser organizados e apresentados. Depois disso, esses dados devem ser analisados, para que assim, se chegue a uma conclusão que tornará possível uma tomada de decisão (WEBER, 2008).

2.7.1 Amostragem

No processamento é utilizado uma amostra, ou seja, um subconjunto da população. Para que se possa considerar uma parcela da população como uma amostra, é necessário que essa amostra consiga representar o todo da população (WEBER, 2008).

2.7.2 Média aritmética

Segundo John (2004), a medida de tendência central mais popular é a média aritmética ou, simplesmente média. A média é definida como:

$$X = \frac{\sum(x_i)}{n_i} \quad (6)$$

Em que:

X : média aritmética

x_i : valor encontrado

n_i : quantidade de ensaios

2.7.3 Desvio padrão

De acordo com John (2004), o desvio padrão é a variação de um conjunto de dados em termos das quantidades pelas quais os valores desviam de suas médias. Ou seja, se forem somarmos os desvios dos dados com relação a média e elevar ao quadrado, dividir pelo número de dados e extrair a raiz do resultado, tem-se a medida estatística conhecida como desvio médio. É necessário elevar a subtração ao quadrado, pois não importa se o valor é positivo ou negativo, mas sim sua magnitude. A seguir tem-se a fórmula do desvio padrão.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x)^2}{n-1}} \quad (7)$$

Em que:

S : desvio padrão

x_i : valor encontrado

x : média

n : quantidade de ensaios

2.7.4 Inspeção e aceitação (NBR 15270:1)

O Item 7 da NBR 15270:1 (2005) descreve itens sobre critérios de inspeção e aceitação. De acordo com o Item 7.4, na execução da inspeção por ensaio, deve-se adotar amostragem simples. Para ensaios de resistência à compressão deve-se utilizar uma amostra com 13 corpos de prova. Na inspeção por ensaios, a rejeição ou aceitação do lote fica a critério da tabela 7.

Tabela 7 – Critérios de aceitação e rejeição por ensaios

N de blocos constituintes	Unidades não conformes	
	N para aceitação do lote	N para rejeição do lote
13	2	3

Fonte: NBR 15270:1 (2005)

Para amostragem simples, se o número de unidades não conforme estiver abaixo ou igual ao número de aceitação, o lote é aceito, caso contrário, deve-se rejeita-lo (NBR15270, 2005).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente, com base na NBR 15270, foram feitos ensaios físicos de resistência à compressão nos blocos cerâmicos, estes com furação quadrada e circular. Depois dos ensaios físicos, foram feitos os ensaios computacionais. O programa escolhido para a modelagem do problema proposto foi o ABAQUS[®]. Optou-se pela utilização deste, devido à alta capacidade de resolução de modelos complexos, incluindo sistemas não lineares. O programa foi inicialmente apresentado no Item 2.6 deste trabalho.

3.1 Ensaios físicos de resistência à compressão

Com as informações contidas na NBR 15270:3, devem ser feitos ensaios físicos de resistência mecânica à compressão, tanto nos blocos cerâmicos com furação circular como nos com furação quadrada.

3.1.1 Análise dimensional dos blocos

Primeiramente deve ser feita uma análise dimensional dos blocos. Devem ser tabeladas as dimensões dos septos, paredes externas, largura, comprimento e altura, para todas as amostras. Todos os blocos devem estar com as dimensões limites presentes na NBR 15270:1.

3.1.2 Capeamento dos blocos

Para que as imperfeições dos blocos não interfiram no resultado do ensaio, deve ser feito o capeamento dos blocos. Este pode ser realizado com uma argamassa ou nata, que não deve exceder 3 mm de espessura.

3.1.3 Saturação dos blocos

Depois de capeado, os blocos devem ser colocados em água por no mínimo 6 horas, conforme estabelecidos pela NBR 15270:1.

3.1.4 Ensaios de compressão

Os blocos devem ser ensaiados na posição horizontal, ou seja, a carga aplicada será perpendicular ao comprimento do bloco, de modo a representar um carregamento similar as condições de uso.

3.1.5 Análise dos resultados

Com base nos resultados de resistência encontrados no Item 3.1.4, deve ser feita uma análise comparativa entre os valores encontrados para os blocos com furação circular e quadrada.

3.2 Modelagem computacional de modelos básicos

Com a utilização do ABAQUS[®], devem ser feitas modelagens dos blocos de furação circular e quadrada. Para a modelagem dos blocos é necessário seguir alguns passos que estão descritos nos próximos tópicos.

3.2.1 Definição da geometria do bloco a ser analisado

Nesta etapa se estabelecerão de acordo com o que se deseja à geometria do bloco. Além do tamanho das arestas, também serão definidos nesta etapa o tipo e a quantidade de furos presentes no modelo. Estas definições são elaboradas no módulo PART, módulo da interface CAE do ABAQUS[®].

3.2.2 Definição do material

As definições características do material, como as propriedades mecânicas do mesmo, serão definidas e inseridas no módulo PROPERT da interface CAE.

3.2.3 Definição da seção e aplicação das condições de contorno

Em seguida é feito as definições das seções, ou seja, o agrupamento das duas partições acima citadas (módulo PART e PROPERT). Esta etapa é analisada e configurada no módulo ASSEMBLY também da interface CAE do ABAQUS[®].

3.2.4 Condições de contorno – carregamento e apoios

As condições de carregamento e apoios, assim como valores das cargas a serem aplicados no modelo, são definidas e configuradas no módulo LOAD da interface CAE do programa.

3.2.5 Definição da malha

Nesta etapa, são efetuadas as configurações da malha de elementos finitos que se deseja. É conhecido que quanto maior o número de elementos finitos presentes na malha, ou seja, quanto menor forem os elementos finitos, maior será a precisão dos resultados. No entanto é possível verificar na prática que a partir de uma malha bem definida, o aumento do número de elementos presentes na mesma, não influi significativamente nos resultados. Esta etapa da modelagem se dá no módulo MESH da interface CAE.

3.2.6 Execução da análise

Finalizando a utilização da interface CAE, é executado a análise linear do modelo. Estas últimas aplicações são efetuadas no módulo JOB, resultando assim deste último processo na obtenção dos dados de entrada necessários para se inicializar a simulação numérica.

3.2.7 Visualização dos resultados

A análise dos resultados ocorre após a compilação dos dados de entrada do modelo utilizando-se o pós-processador, a (interface VIEWER do programa ABAQUS[®]). Nesta interface é possível avaliar o modelo gerado e suas possíveis deformações ocasionadas pela

aplicação dos carregamentos, identificando assim, pontos críticos de esforços internos do modelo, na qual esta análise se impõe como fundamental para o sucesso deste trabalho.

3.2.8 *Análise dos resultados*

Com base nos conhecimentos sobre o MEF e resistência dos materiais, deve ser feita uma análise comparativa entre os blocos com furação circular e quadrada, analisando sua resistência máxima à compressão, seus principais pontos de tensão e pontos críticos nos quais se originam as principais fraturas.

Importante ressaltar que os resultados obtidos nos ensaios físicos, podem divergir dos resultados encontrados nas simulações computacionais.

As avaliações distintas entre análises computacionais e análises físicas, se dão devido a dificuldade de se obter fisicamente um corpo de prova tão homogêneo e preciso, quanto os modelos ensaiados computacionalmente, além da complexidade de se calibrar o programa para uma análise perfeita e de condições reais.

3.3 Proposta de novos formatos de furos

Com base na análise da resistência feita nos Itens 3.1.5 e 3.2.8, deve-se obter novos formatos de furos para os blocos, visando modificar os pontos nos quais há a maior concentração de tensão e onde surgiram as rupturas, sempre tentando diminuir ao máximo a área líquida da seção transversal de acordo com as dimensões limites impostas na NBR 15270.

3.3.1 *Modelagem de novas formas*

Repetir o Item 3.2.1, agora utilizando as formas apontadas no Item 3.3.

3.3.2 *Análise dos resultados*

Realizar a mesma análise feita no Item 3.2.8 para as novas formas de furos propostas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaios físicos de resistência à compressão

4.1.1 Análise dimensional dos blocos

Foram analisados 16 blocos cerâmicos, 8 com furação circular (figura 9) e 8 com furação quadrada (figura 10). Todas as amostras tiveram suas dimensões tabeladas. As medidas de altura, largura, comprimento, septo e parede externa, estão descritas na tabela 8.

Tabela 8 – Dimensões dos blocos cerâmicos

Bloco	H (cm)	L (cm)	C (cm)	Septo (mm)	Parede (mm)
C1	14,00	9,05	19,10	6,00	10,00
C2	13,90	9,10	19,10	6,00	10,00
C3	13,95	8,90	19,15	6,20	9,50
C4	13,95	9,00	19,00	6,10	8,00
C5	14,00	8,90	18,90	6,00	8,00
C6	13,90	9,10	19,00	6,00	8,20
C7	13,85	9,00	19,10	6,00	7,90
C8	13,90	9,00	19,10	6,00	7,00
Q1	13,80	19,00	9,00	8,00	8,00
Q2	14,00	19,10	8,90	9,00	9,00
Q3	13,80	18,90	8,80	9,00	7,00
Q4	14,00	19,00	9,00	10,00	7,00
Q5	13,80	19,00	8,90	9,00	7,00
Q6	13,90	19,10	9,00	8,00	7,00
Q7	13,90	19,10	9,00	8,00	7,00
Q8	13,90	19,00	8,90	7,00	8,00

As amostras foram identificadas com números e letras. C1 até C8 para os blocos de furação circular e Q1 até Q8 para furação quadrada.



Figura 9: Identificação dos blocos de furo circular



Figura 10: Identificação dos blocos de furo quadrado

4.1.2 *Capecamento dos blocos*

Os capecamentos dos blocos foram feitos nos Laboratórios de Materiais do DACOC/UTFPR. Este tem a função de regularizar as faces do bloco para que fiquem totalmente planos.

Utilizando um pincel, foi aplicada uma quantidade de desmoldante na superfície de uma mesa plana. Com a ajuda de uma argamassadeira, foi feita uma mistura de uma argamassa composta por água, cimento portland CPII e areia fina, no traço de 1:3. Esta argamassa foi colocada sobre a superfície da mesa. Em cima desta argamassa foram colocados os blocos, e com a ajuda de um nível bolha os blocos foram nivelados. Depois de 24 horas, todos estes passos foram repetidos para realizar o capecamento na segunda face do bloco.



Figura 11: Aplicação de desmoldante e nivelamento dos blocos



Figura 12: Capeamento dos blocos



Figura 13: Bloco capeado

4.1.3 *Saturação dos blocos*

Depois de realizar o capeamento das duas faces de todos os blocos, estes foram colocados em um tanque de água durante 24 horas para uma total saturação. Esta etapa é realizada, pois a pior situação de resistência à compressão é quando os poros estão saturados.



Figura 14: Saturação dos blocos

4.1.4 *Ensaio de compressão*

Para a realização dos ensaios físicos a compressão, foi utilizada uma máquina universal de ensaios, EMIC DL-2000, dos Laboratórios de Materiais do DACOC/UTFPR. Todas as informações que devem ser levadas em consideração para esta etapa, estão na norma vigente de métodos de ensaios de blocos cerâmico, a NBR 15270-3.

Os blocos foram ensaiados individualmente, sempre na posição central do equipamento, colocados de modo que os seus centros de gravidade estejam no eixo de cargas dos pratos metálicos da prensa. Todos os blocos foram ensaiados na horizontal, ou seja, a carga é aplicada no comprimento do bloco.

Após serem aplicados os respectivos carregamentos, foram anotadas as resistências totais de cada bloco.



Figura 15: Posicionamento do bloco na prensa

4.1.5 Análise dos resultados

As resistências encontradas, tanto para os blocos com furação circular como os de furação quadrada, estão citadas na tabela 9. O gráfico 2, apresenta os dados de tensão x deformação dos blocos ensaiados.

Tabela 9 – Resistência dos blocos

Bloco	Amostra	Resistência (MPa)
C1	CP10	0,34
C2	CP5	0,72
C3	CP9	0,60
C4	CP15	0,51
C5	CP16	0,33
C6	CP4	0,47
C7	CP1	0,36
C8	CP12	0,72
Q1	CP8	1,00
Q2	CP6	1,17
Q3	CP11	1,05
Q4	CP14	1,48
Q5	CP2	1,26
Q6	CP3	1,32
Q7	CP17	1,61
Q8	CP13	1,91

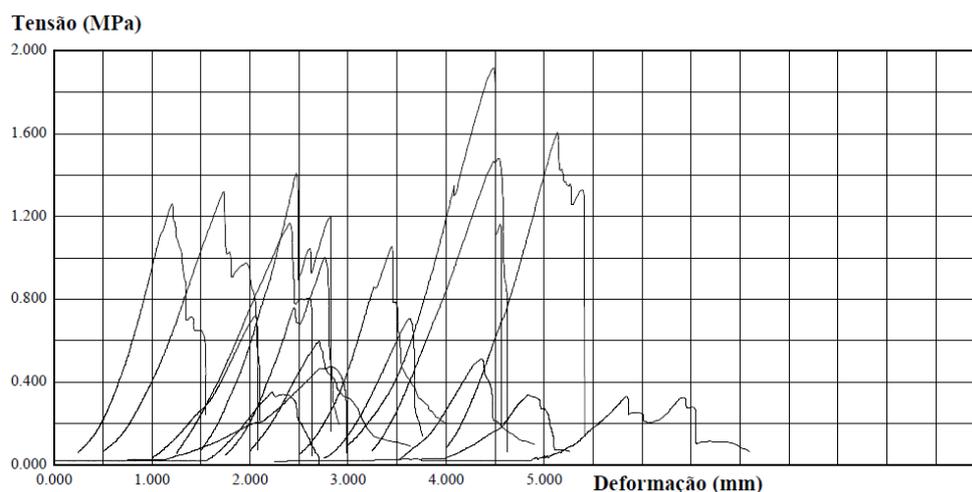


Gráfico 2 – Tensão x Deformação

O valor médio para a resistência dos blocos com furação circular foi de 0,51 MPa, e para os blocos de furação quadrada foi de 1,35 MPa. A grande diferença de resistência entre os dois tipos de blocos pode ser justificada pela possível diferença na produção dos blocos,

outro fator que influencia na resistência do bloco cerâmico está ligado ao tempo e temperatura de queima deste, bem como a presença de grânulos indesejados nos corpos de provas físicos, provenientes da própria matéria prima do elemento, ou de diferenciação nos processos de maceração, o qual objetiva-se diminuir os tamanhos dos grãos, aumentando a plasticidade do produto primário.

Observando os ensaios, constatou-se que 12 entre os 18 blocos começaram a apresentar as primeiras fissuras no septo interno do bloco. Logo, é um ponto que poderá ser analisado e comparado com os modelos computacionais. A figura 16 apresenta as primeiras fissuras do bloco de furação quadrada. Já as figuras 17 e 18, apresentam as primeiras fissuras identificadas nos blocos de furação cilíndrica, e a figura 19, apresenta novamente outro bloco de furação quadrada e seus respectivos pontos de primeiras fissuras.



Figura 16: Fissuras no bloco de furação quadrada



Figura 17: Fissuras no bloco de furação circular

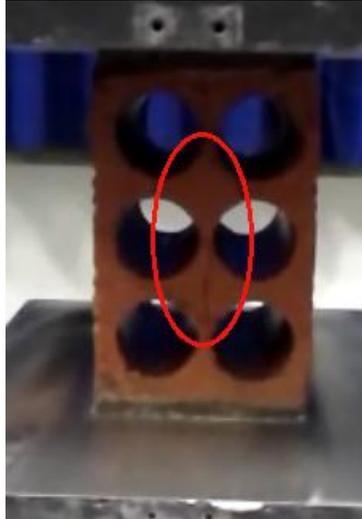


Figura 18: Fissuras no bloco de furação circular



Figura 19: Fissuras no bloco de furação quadrada

4.2 Modelagem computacional de modelos básicos

4.2.1 Definição da geometria do bloco a ser analisado

Com a utilização do programa AUTOCAD[®], foram desenhados os blocos com furação circular e furação quadrada. O primeiro passo foi desenhar os blocos com as dimensões limites descritas na norma NBR15270:3 (2005). Em seguida foram desenhados blocos com dimensões iguais aos blocos ensaiados fisicamente, isto para uma comparação de resistências.

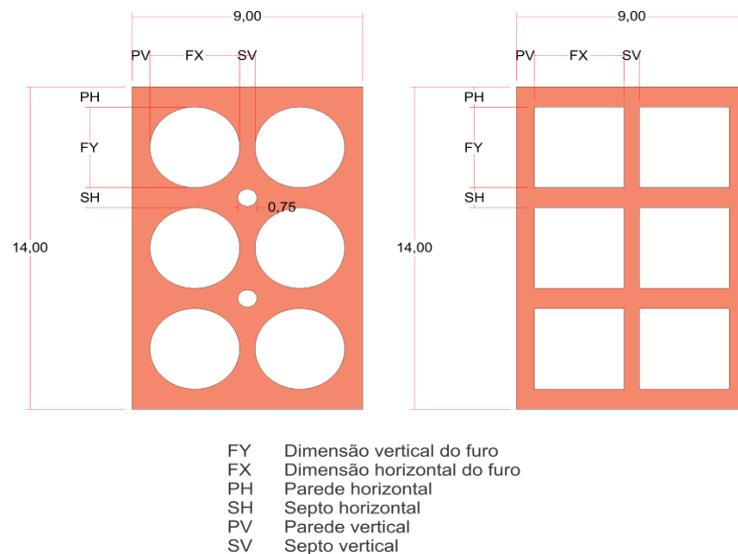


Figura 20: Nomenclaturas das dimensões

4.2.2 Definição dos dados de entrada, condições de contorno e definição da malha

O exemplo foi modelado com a utilização do programa computacional ABAQUS[®]. Além das características geométricas do modelo, foi utilizado como dados de entrada para a simulação do exemplo, módulo de elasticidade $E = 28,00$ GPa, e coeficiente de Poisson de 0,2.

Os dados utilizados para o modelo matemático de Mohr-Coulomb, foi a resistência à compressão $f_c = 5,5$ MPa, segundo Santos (1928) a resistência mínima para fabricação de tijolos furados. Como coeficiente m foi utilizado o valor característico de materiais frágeis apresentado para o concreto, $m = 4,1$, Chen (2007). Os demais parâmetros calculado pelas equações apresentadas no Item 2.5.2 e inseridas no programa foram: ângulo de fricção $\phi = 37,43^\circ$ e resistência à coesão $c = 1,36$ MPa.

O modelo foi analisado como sendo um modelo Elástico-Linear, e submetido a um carregamento gradual de 0,05 MPa/s. A Figura 21 mostra o bloco cerâmico já modelado em seu estado de sólido por extrusão.

A condição de apoio do modelo é bastante importante no momento em que se deseja analisar os resultados obtidos pela simulação. No modelo exemplo, o carregamento foi aplicado na face superior, restringindo a face inferior no plano de deslocamento y (no sentido da aplicação da carga), e fixando um vértice da face inferior para evitar a rotação do bloco em torno do eixo y, como mostrado na Figura 22. A malha de elementos finitos foi gerada conforme a Figura 23, mantendo como considerações iniciais: Elementos hexaédricos de 8 nós para os modelos com linhas ortogonais, e prismas de base triangulares de 6 nós para os modelos com alguma geometria curvilínea. Para a dimensão dos elementos da malha, estes foram fixados em 3mm. Sendo a quantidade de elementos totais, calculado pelo programa com base em cada geometria de furo. Este procedimento foi adotado com o objetivo de proporcionar uma distribuição uniforme e simétrica dos elementos finitos nos corpos simulados e aumentar a confiabilidade dos resultados.

As figuras 24 e 25 representam de maneira mais detalhada a apresentação dos diagramas de tensões e a visualização enfatizando pontos críticos do septo vertical respectivamente, onde houveram concentração de tensões verificadas pela coloração mais avermelhada em alguns pontos.

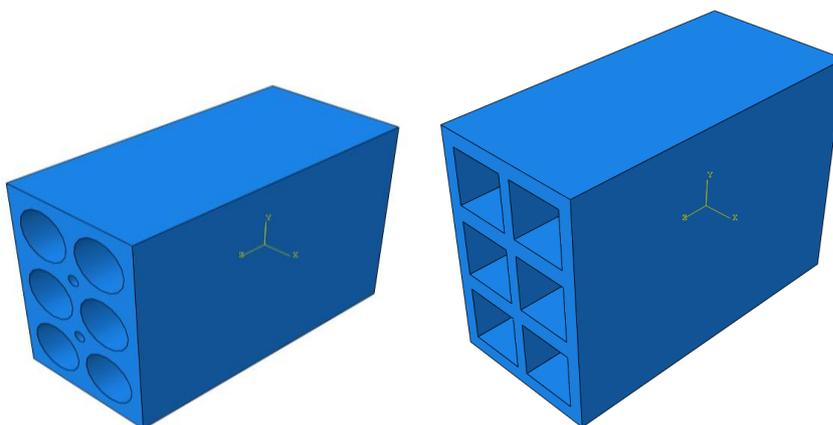


Figura 21: Geometria do modelo.

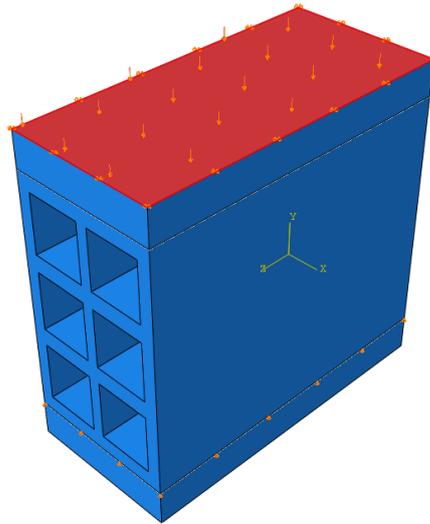


Figura 22: Condições de apoio e carregamento.

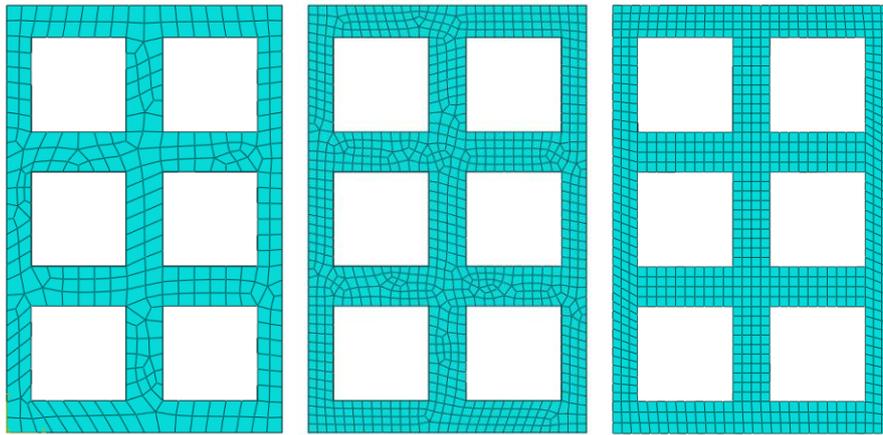


Figura 23: Refinamento da malha de elementos finitos

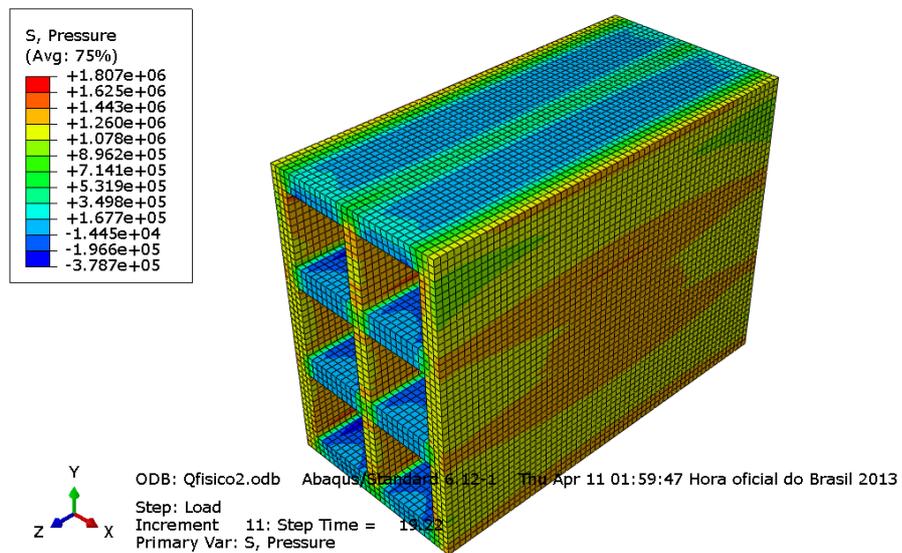


Figura 24: Modelo com tensões distribuídas.

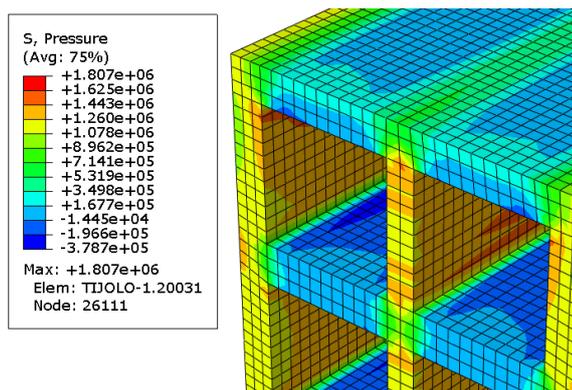


Figura 25: Detalhe de pontos críticos.

4.2.3 Resultados das análises computacionais

Os resultados encontrados, tanto para os blocos com as dimensões limites como os de dimensões iguais aos blocos ensaiados fisicamente, estão descritos abaixo.

A nomenclatura para diferenciar os blocos foi: R1 para o bloco com furação circular limite a norma, Qmin para o bloco com furação quadrada limite a norma, Qensaio para o bloco com furação quadrada com dimensões iguais aos do ensaio físico e Rensaio para o bloco com furação circular com as dimensões iguais as do ensaio físico.

As resistências de cada bloco foram calculadas com base nos tempos de cada *step*, ou seja, na quantidade de incrementos que o bloco simulado suportou até que este falhasse, considerando que a cada *step*, estavam sendo incluídos incrementos de 0,05 MPa/s, conforme descrito no Item 4.2.2 deste trabalho.

As figuras 26, 27, 28 e 29 apresentam respectivamente as análises simuladas dos blocos R1 (redondo de menor área líquida transversal possível), QMín, QEnsaio e REnsaio, assim como seus respectivos resultados apresentados nas fichas de apresentação ao lado (direita das figuras).

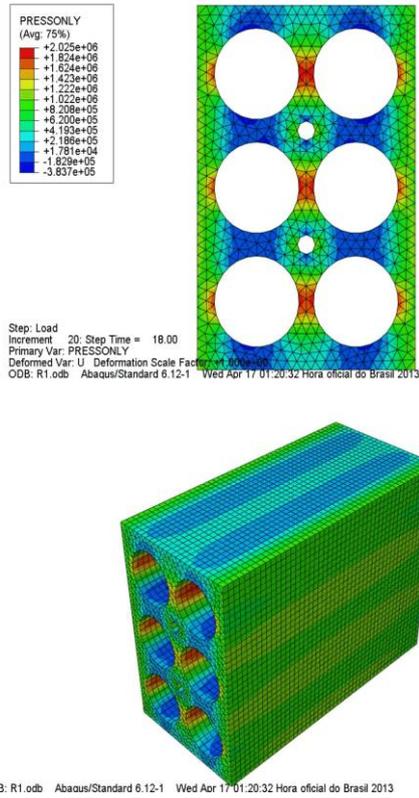


Figura 26: Bloco R1

BLOCO R1	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	8,8
Parede Vertical	7
Septo Horizontal	8,8
Septo Vertical	6
Área Líquida	6727,32
Tipo de furo	Redondo
Altura do furo (y)	35
Largura do furo (x)	35
Quant. Furos	6
Área do furo	962,11
Resultado:	
Resistência:	0,900 MPa

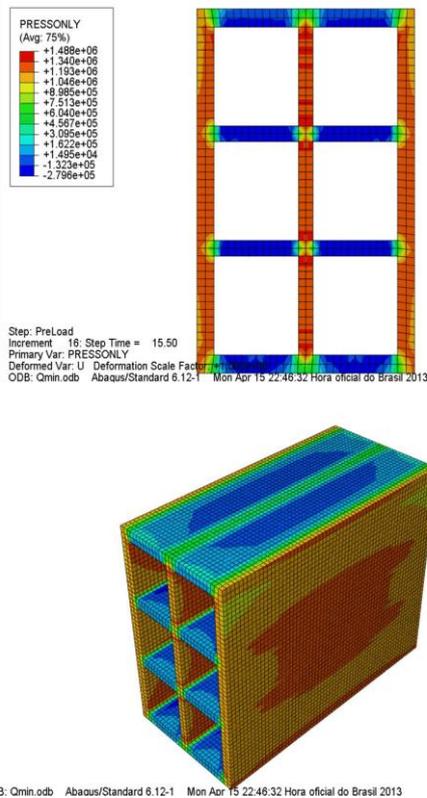
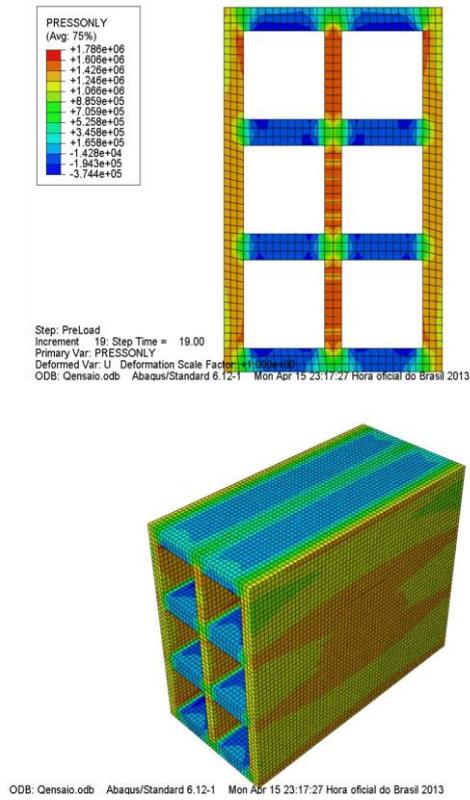


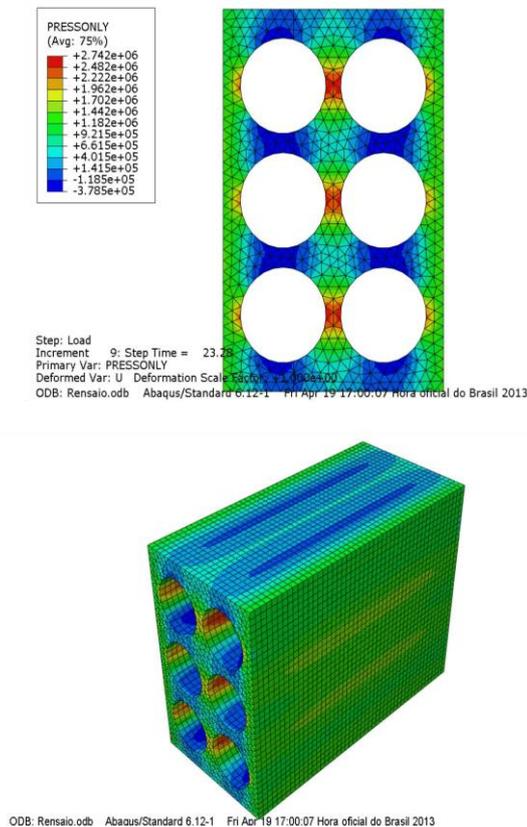
Figura 27: Bloco QMin

BLOCO Qmín	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	7
Parede Vertical	7
Septo Horizontal	6
Septo Vertical	6
Área Líquida	4620,00
Tipo de furo	Retangular
Altura do furo (y)	38
Largura do furo (x)	35
Quant. Furos	6
Área do furo	1300,00
Resultado:	
Resistência:	0,775 MPa



BLOCO Qensaio	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	9
Parede Vertical	8
Septo Horizontal	10
Septo Vertical	7
Área Líquida	5766,00
Tipo de furo	Retangular
Altura do furo (y)	34
Largura do furo (x)	33,50
Quant. Furos	6
Área do furo	1100
Resultado:	
Resistência:	0,950 MPa

Figura 28: Bloco Qensaio



BLOCO Rensaio	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	10,5
Parede Vertical	7
Septo Horizontal	7
Septo Vertical	6
Área Líquida	6500,00
Tipo de furo	Redondo
Altura do furo (y)	35
Largura do furo (x)	35
Quant. Furos	6
Área do furo	1000,00
Resultado:	
Resistência:	1,164 MPa

Figura 29: Bloco Rensaio

4.2.4 Análise dos resultados

Nos blocos de furo circular houve concentração de tensões e conseqüente ruptura no ponto onde o estreitamento é maior.

O bloco com furos quadrados e elementos de dimensões mínimas, apresentou melhor distribuição de cargas, mas da mesma forma que o de furos circular teve o seu rompimento no septo vertical.

Esta análise aponta os pontos críticos das geometrias analisadas, que serão modificadas para implementar a resistência dos blocos.

4.3 Proposta de novos formatos de furos

4.3.1 Modelagem de novas formas

Para auxiliar na proposição de blocos com furos de modelos diferenciados, foi desenhado um bloco de dimensões limites, com septos de 6 mm e paredes de 7 mm. A figura 30 mostra o desenho do bloco que servirá como modelo de limitação para as novas proposições.

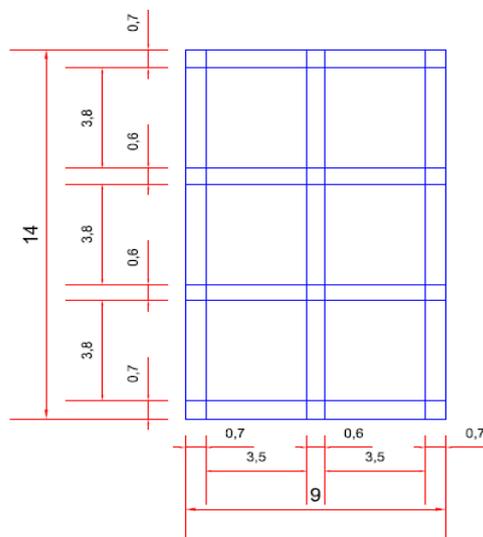


Figura 30: Dimensões limites dos blocos

Foram executadas várias combinações possíveis de medidas verticais e horizontais dos furos, respeitando sempre as limitações de septos e paredes, e também a área de cada furo, para que fosse possível efetuar comparações de resultados, baseados em modelos de diferentes geometrias de furos, porém com a mesma área de seção transversal.

Com base na análise dos resultados do Item 4.2.4, percebe-se que para aumentar a resistência dos blocos com furação circular e quadrada, deve-se aumentar a espessura da parede interna dos blocos, porém diminuindo a respectiva espessura dos septos horizontais para se manter fixas as áreas líquidas das seções transversais. Esta informação teve um grande peso para a proposta de novos formatos de furos para os blocos cerâmicos.

4.3.2 Análise dos resultados

Depois de modelados todos os blocos propostos, cujas nomenclaturas foram atribuídas os prefixos “P” seguido de uma sequência numérica, além da proposição de modelos de furação quadrada, com alterações nas dimensões dos furos ou alterações no posicionamento cartesiano das furações (Q1 a Q9), e também cujas características de cada modelo proposto encontram-se nas fichas de apresentação dos blocos, estes foram ensaiados computacionalmente. Todos os resultados estão descritos conforme a sequência de figuras de 31 a 48 e respectivas fichas de apresentação.

Com base nas fichas de apresentação de cada modelo proposto, é possível identificar as características principais de cada bloco, como: dimensões físicas externas, espessuras das paredes externas (tanto vertical como horizontal), espessuras dos septos (tanto vertical como horizontal), área líquida, tipo de furos, quantidade de furos, assim como as dimensões e respectivas áreas dos furos. Além dos resultados obtidos com base na resistência mecânica a compressão do eixo “y” (sentido do carregamento no modelo).

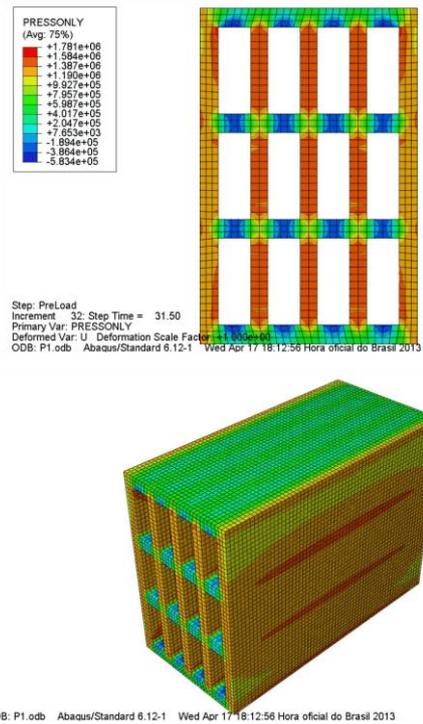


Figura 31: Bloco P1

BLOCO P1	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	7,9
Parede Vertical	7,5
Septo Horizontal	7,8
Septo Vertical	7
Área Líquida	6735,60
Tipo de furo	Retangular
Altura do furo (y)	36,2
Largura do furo (x)	13,5
Quant. Furos	12
Área do furo	488,70
Resultado:	
Resistência:	1,575 MPa

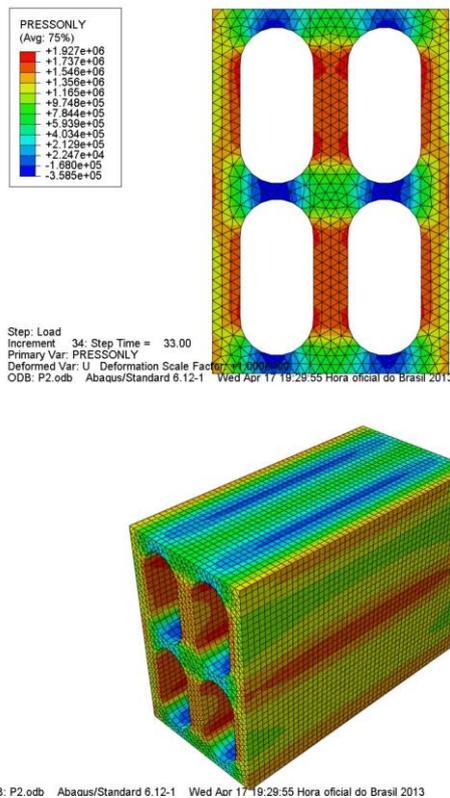


Figura 32: Bloco P2

BLOCO P2	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	7
Parede Vertical	10,5
Septo Horizontal	6
Septo Vertical	13
Área Líquida	6553,00
Tipo de furo	Elíptico
Altura do furo (y)	60
Largura do furo (x)	28
Quant. Furos	4
Área do furo	1511,75
Resultado:	
Resistência:	1.65 MPa

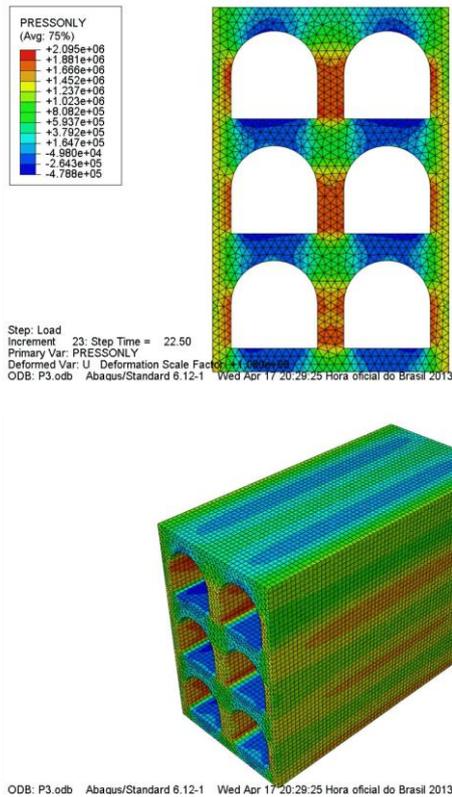


Figura 33: Bloco P3

BLOCO P3	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	9
Parede Vertical	7
Septo Horizontal	10,3
Septo Vertical	10
Área Líquida	6600,00
Tipo de furo	Arco
Altura do furo (y)	33,8
Largura do furo (x)	33
Quant. Furos	6
Área do furo	1000,00
Resultado:	
Resistência:	1,125 Mpa

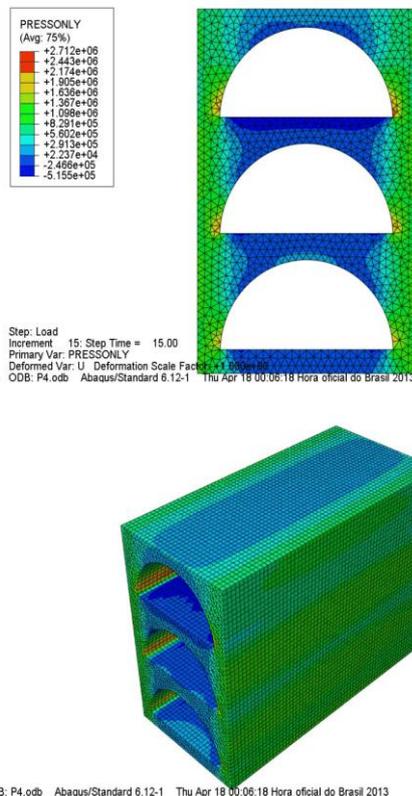


Figura 34: Bloco P4

BLOCO P4	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	9,1
Parede Vertical	9,3
Septo Horizontal	10,1
Septo Vertical	-
Área Líquida	6900,00
Tipo de furo	Semi Círculo
Altura do furo (y)	34,5
Largura do furo (x)	71,6
Quant. Furos	3
Área do furo	1900,00
Resultado:	
Resistência:	0,75 MPa

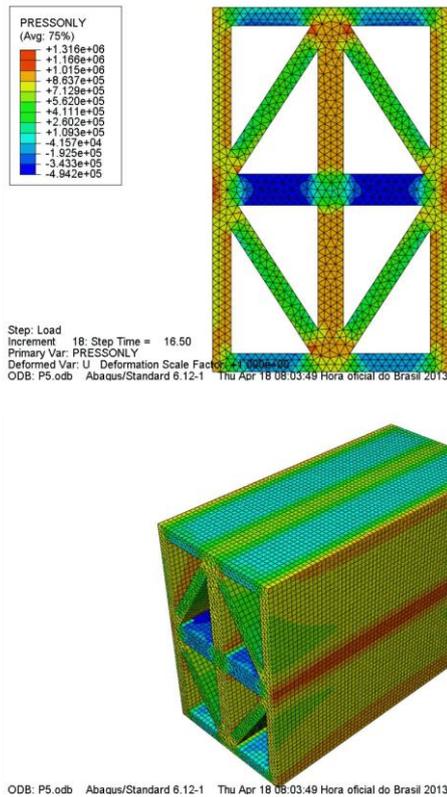


Figura 35: Bloco P5

BLOCO P5	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	7
Parede Vertical	7
Septo Horizontal	12
Septo Vertical	9,6
Área Líquida	7000,00
Tipo de furo	Triangular
Altura do furo (y)	47,8
Largura do furo (x)	30,7
Quant. Furos	8
Área do furo	700,00
Resultado:	
Resistência:	0,825 MPa

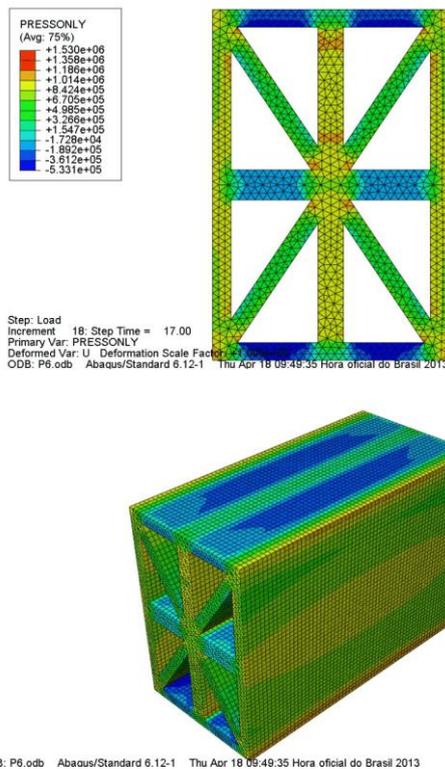


Figura 36: Bloco P6

BLOCO P6	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	7
Parede Vertical	7
Septo Horizontal	12
Septo Vertical	9,6
Área Líquida	7000,00
Tipo de furo	Triangular
Altura do furo (y)	47,8
Largura do furo (x)	30,7
Quant. Furos	8
Área do furo	700,00
Resultado:	
Resistência:	0,85 MPa

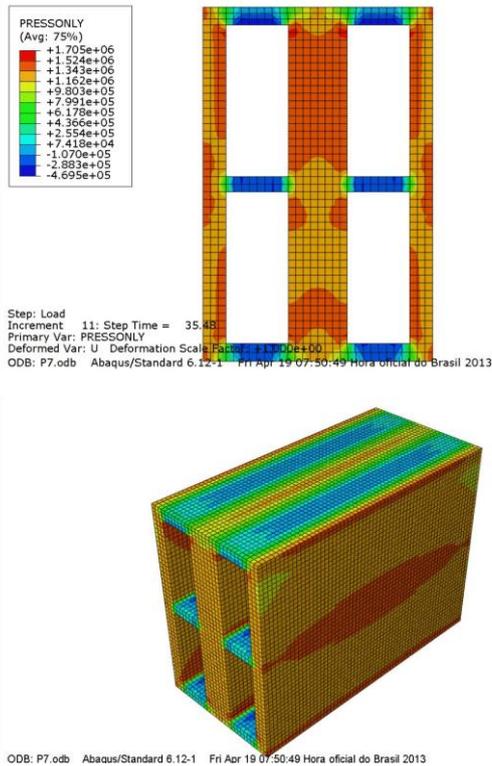


Figura 37: Bloco P7

BLOCO P7	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	7
Parede Vertical	9
Septo Horizontal	6
Septo Vertical	23
Área Líquida	6600,00
Tipo de furo	Retangular
Altura do furo (y)	60
Largura do furo (x)	24,5
Quant. Furos	4
Área do furo	1500,00
Resultado:	
Resistência:	1,774 MPa

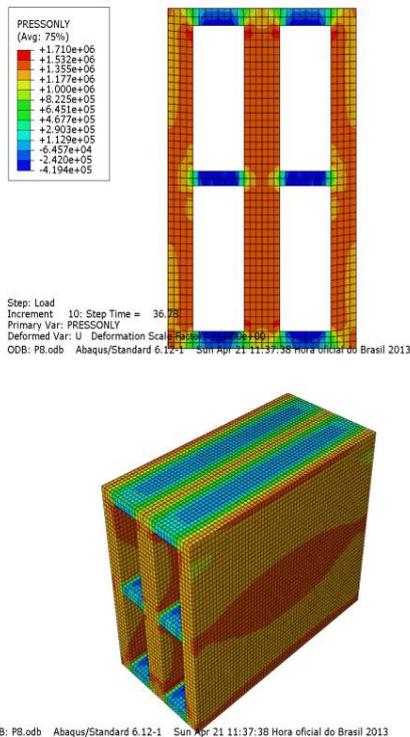


Figura 38: Bloco P8

BLOCO P8	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	7
Parede Vertical	12
Septo Horizontal	6
Septo Vertical	17
Área Líquida	6600,00
Tipo de furo	Retangular
Altura do furo (y)	60
Largura do furo (x)	24,5
Quant. Furos	4
Área do furo	1500,00
Resultado:	
Resistência:	1,839 MPa

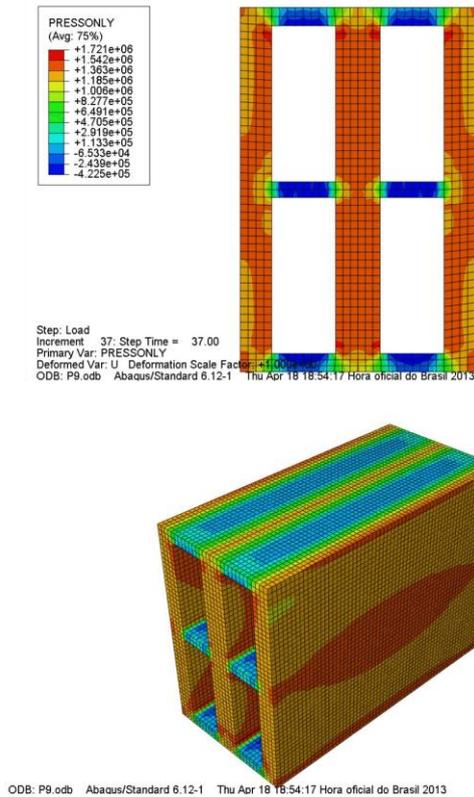


Figura 39: Bloco P9

BLOCO P9	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	7
Parede Vertical	12
Septo Horizontal	6
Septo Vertical	17
Área Líquida	6600,00
Tipo de furo	Retangular
Altura do furo (y)	60
Largura do furo (x)	25
Quant. Furos	4
Área do furo	1500,00
Resultado:	
Resistência:	1,85 MPa

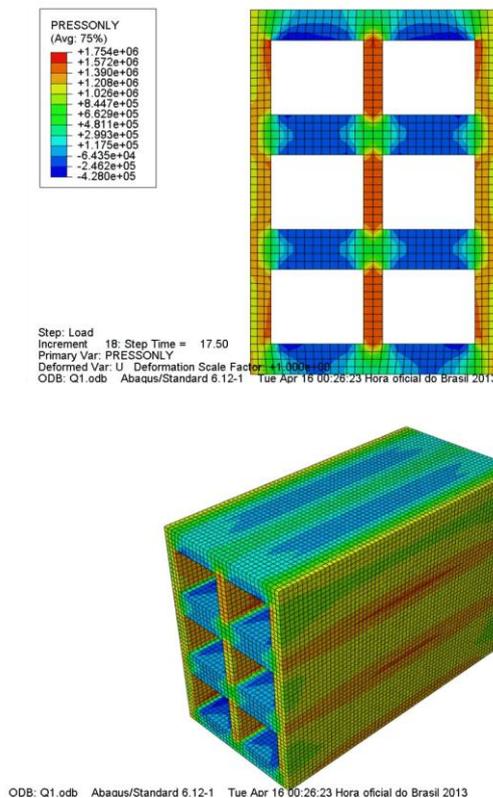


Figura 40: Bloco Q1

BLOCO Q1	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	11,7
Parede Vertical	7,5
Septo Horizontal	1,5
Septo Vertical	7
Área Líquida	6745,20
Tipo de furo	Retangular
Altura do furo (y)	28,7
Largura do furo (x)	34
Quant. Furos	6
Área do furo	975,80
Resultado:	
Resistência:	0,875 MPa

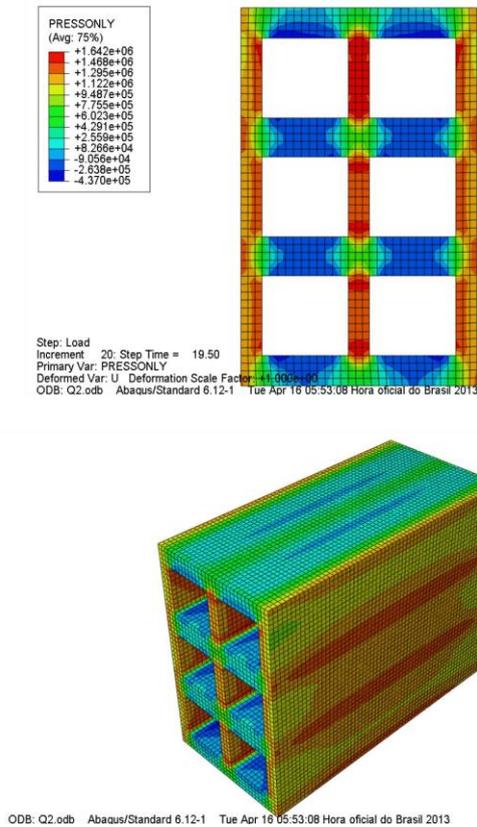


Figura 41: Bloco Q2

BLOCO Q2	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	14,4
Parede Vertical	8
Septo Horizontal	11,12
Septo Vertical	8
Área Líquida	6739,20
Tipo de furo	Retangular
Altura do furo (y)	29,6
Largura do furo (x)	33
Quant. Furos	6
Área do furo	976,80
Resultado:	
Resistência:	0,975 MPa

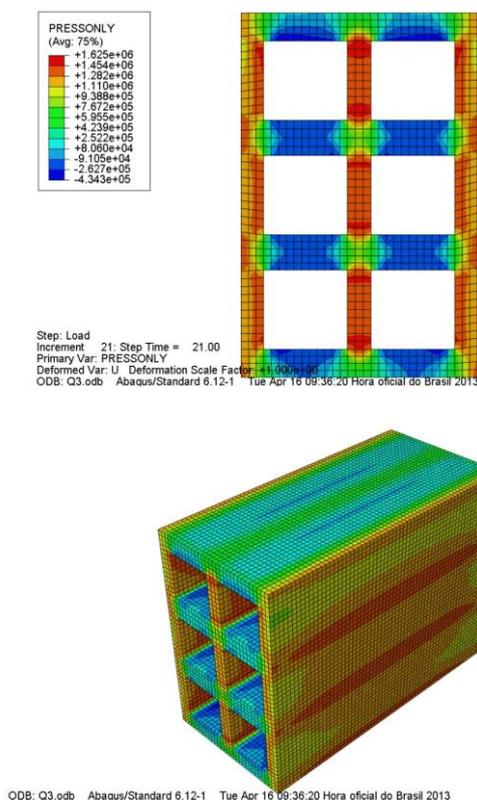


Figura 42: Bloco Q3

BLOCO Q3	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	10,8
Parede Vertical	8,5
Septo Horizontal	13,5
Septo Vertical	9
Área Líquida	6744,00
Tipo de furo	Retangular
Altura do furo (y)	30,5
Largura do furo (x)	32
Quant. Furos	6
Área do furo	976,00
Resultado:	
Resistência:	1,05 MPa

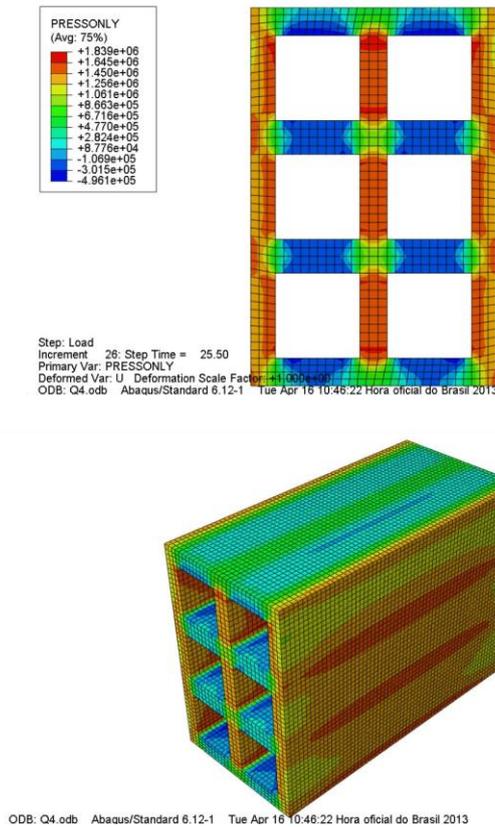


Figura 43: Bloco Q4

BLOCO Q4	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	10,2
Parede Vertical	9
Septo Horizontal	12,5
Septo Vertical	10
Área Líquida	6741,00
Tipo de furo	Retangular
Altura do furo (y)	31,5
Largura do furo (x)	31
Quant. Furos	6
Área do furo	976,50
Resultado:	
Resistência:	1,275 MPa

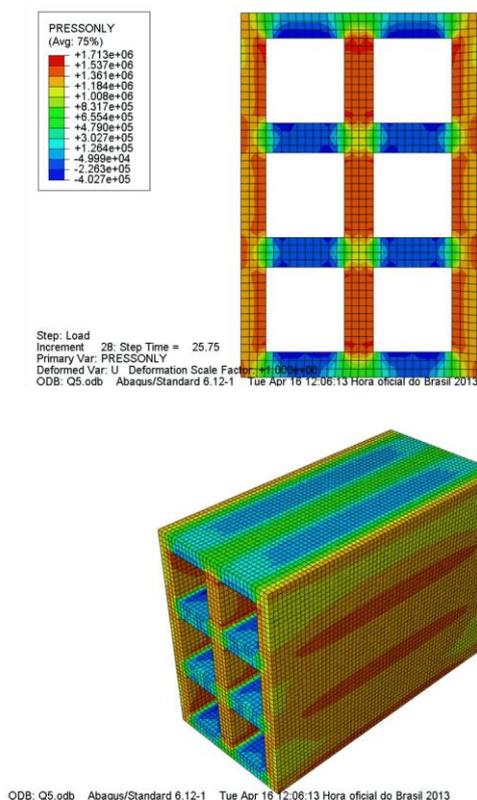


Figura 44: Bloco Q5

BLOCO Q5	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	9,7
Parede Vertical	9,5
Septo Horizontal	11,4
Septo Vertical	11
Área Líquida	6732,00
Tipo de furo	Retangular
Altura do furo (y)	32,6
Largura do furo (x)	30
Quant. Furos	6
Área do furo	978,00
Resultado:	
Resistência:	1,287 MPa

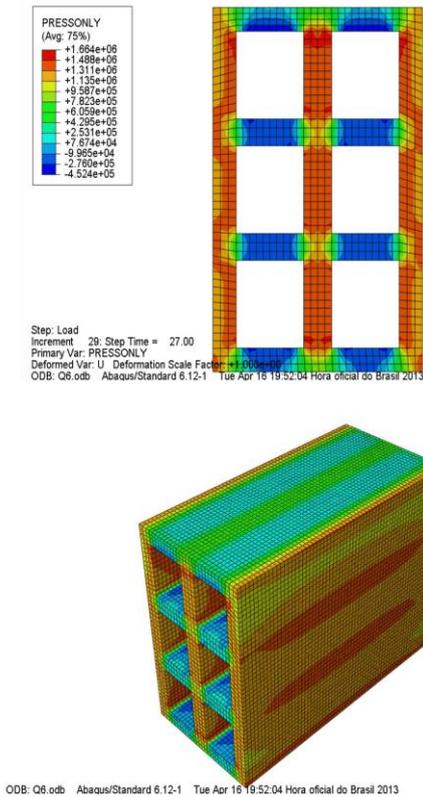


Figura 45: Bloco Q6

BLOCO Q6	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	9,1
Parede Vertical	10
Septo Horizontal	10,3
Septo Vertical	12
Área Líquida	6736,20
Tipo de furo	Retangular
Altura do furo (y)	33,7
Largura do furo (x)	29
Quant. Furos	6
Área do furo	977,30
Resultado:	
Resistência:	1,35 MPa

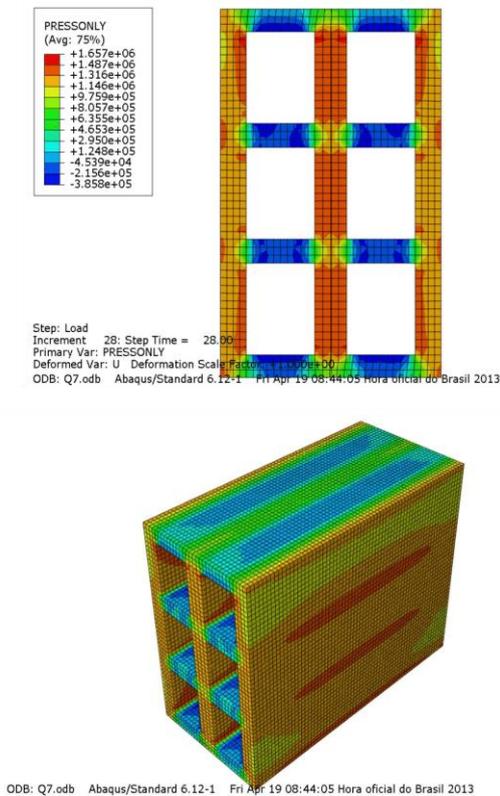
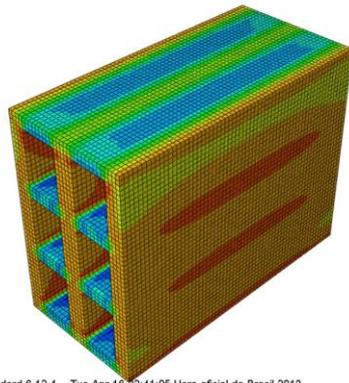
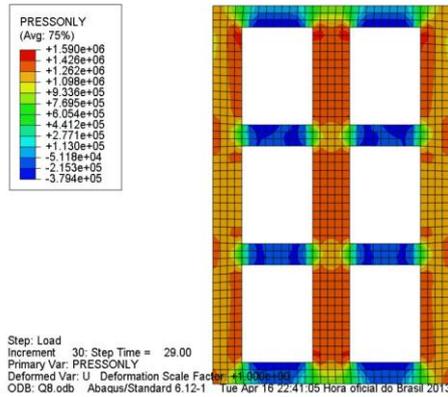


Figura 46: Bloco Q7

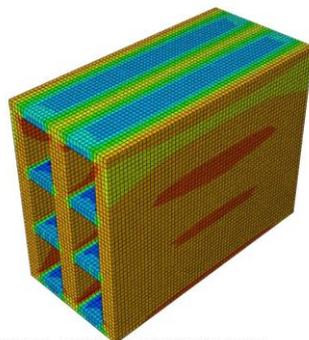
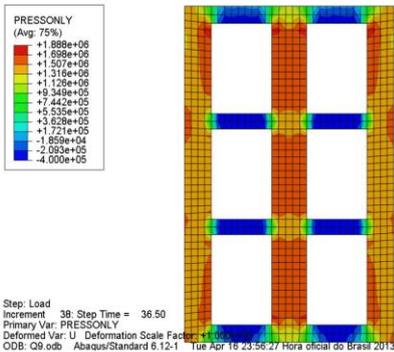
BLOCO Q7	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	8,6
Parede Vertical	10,5
Septo Horizontal	9,1
Septo Vertical	13
Área Líquida	6736,80
Tipo de furo	Retangular
Altura do furo (y)	34,9
Largura do furo (x)	28
Quant. Furos	6
Área do furo	977,20
Resultado:	
Resistência:	1,4 MPa



ODB: Q8.odb Abaqus/Standard 6.12-1 Tue Apr 16 22:41:05 Hora oficial do Brasil 2013

Figura 47: Bloco Q8

BLOCO Q8	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	7,9
Parede Vertical	11
Septo Horizontal	7,8
Septo Vertical	14
Área Líquida	6735,60
Tipo de furo	Retangular
Altura do furo (y)	36,2
Largura do furo (x)	27
Quant. Furos	6
Área do furo	977,40
Resultado:	
Resistência:	1,45 MPa



ODB: Q9.odb Abaqus/Standard 6.12-1 Tue Apr 16 23:56:27 Hora oficial do Brasil 2013

Figura 48: Bloco Q9

BLOCO Q9	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	7,2
Parede Vertical	11,5
Septo Horizontal	6,4
Septo Vertical	15
Área Líquida	6734,4
Tipo de furo	Retangular
Altura do furo (y)	37,6
Largura do furo (x)	26
Quant. Furos	6
Área do furo	977,6
Resultado:	
Resistência:	1.825 MPa

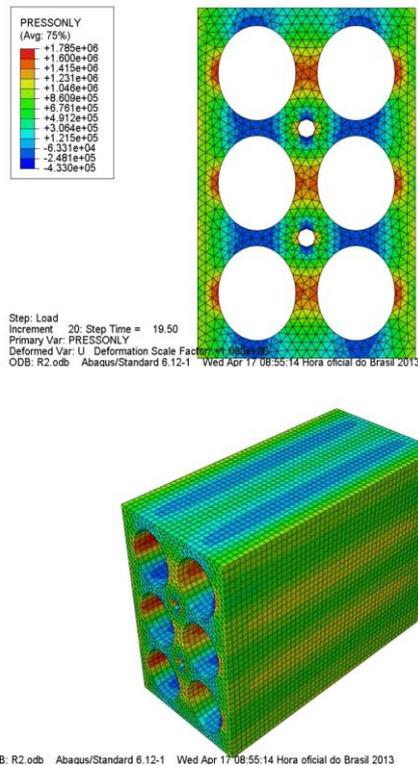


Figura 49: Bloco R2

BLOCO R2	
Características do Bloco	
Dimensões (mm)	
Largura	90
Altura	140
Profundidade	190
Parede Horizontal	7
Parede Vertical	8,4
Septo Horizontal	6
Septo Vertical	8,8
Área Líquida	6733,92
Tipo de furo	Elíptico
Altura do furo (y)	38
Largura do furo (x)	32,2
Quant. Furos	6
Área do furo	961,01
Resultado:	
Resistência:	0,975 MPa

4.3.3 Análise para os blocos propostos

As análises computacionais mostraram uma variação de até 40% entre as resistências à compressão axial utilizando-se aproximadamente mesma área líquida de seção transversal.

Nas geometrias com septo vertical e paredes verticais mais robustas pôde-se observar uma maior resistência e uma melhor distribuição das tensões nos elementos do bloco, como é demonstrado no gráfico 3 que relaciona a maior tensão interna do elemento com a resistência a compressão de cada bloco.

Pode-se observar na maioria dos modelos propostos simulados, que houve concentração de tensões, principalmente nos septos verticais internos, assim como paredes laterais verticais.

Nos modelos cujas espessuras das paredes e dos septos horizontais foram reduzidos, ao seu menor valor em norma, as resistências não diminuiriam expressivamente.

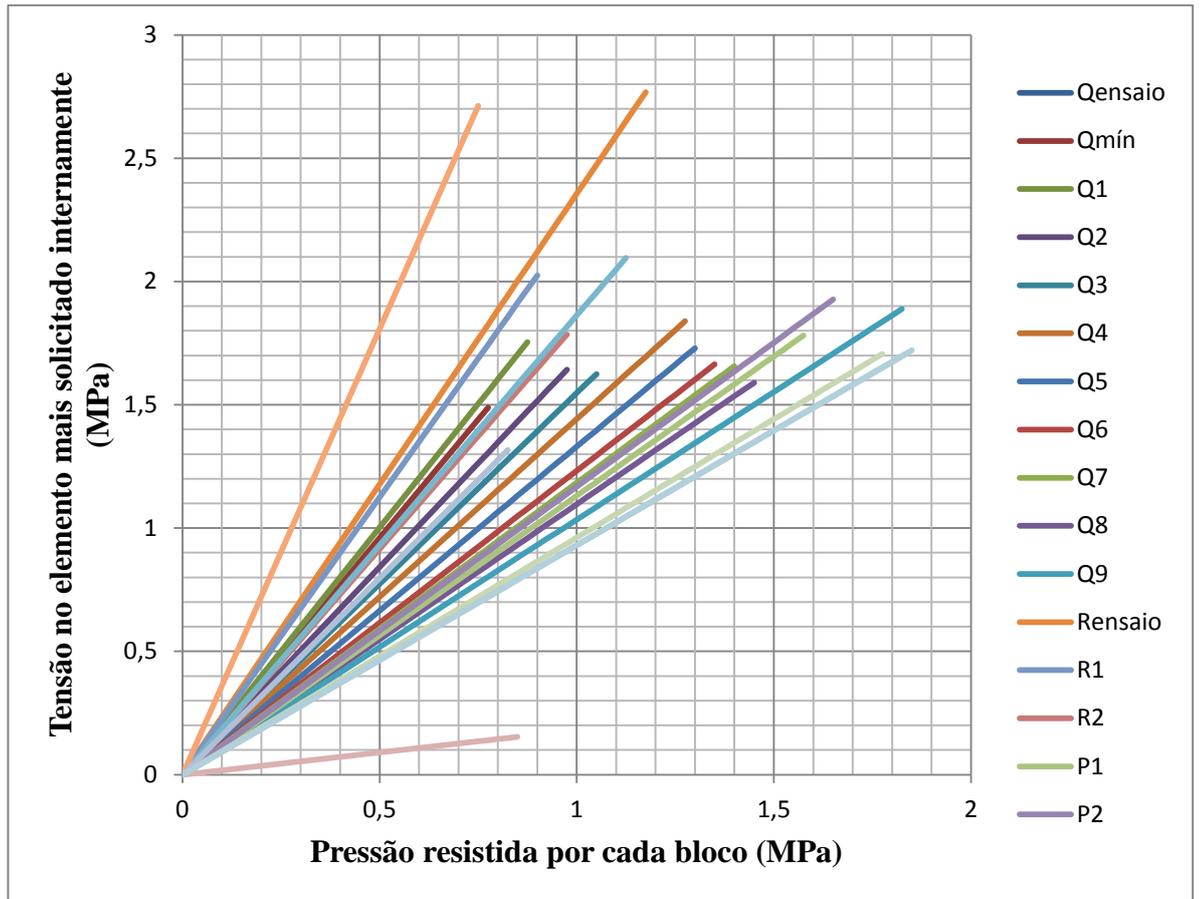


Gráfico 3: Tensão no elemento mais solicitado internamente x Resistência do bloco

5 CONCLUSÃO

Observando os valores encontrados com relação às resistências dos modelos ensaiados computacionalmente e fisicamente, notou-se que a resistência dos blocos simulados em computador não obteve os mesmos valores dos blocos ensaiados fisicamente.

Uma possível explicação para tal discrepância reside na dificuldade de representação fiel do material analisado, que por sua natureza rústica apresenta pouca homogeneidade. A existência de matéria orgânica, microfissuras originadas no processo de fabricação e granulometria não uniforme, podem aumentar a fragilidade dos blocos e fazer com que se comportem de forma imprevisível.

A metodologia ora apresentada não visa substituir a análise física dos blocos, mas apresenta-se como ferramenta suplementar para atingir resultados cada vez mais satisfatórios, focando o desenvolvimento nas propostas com maior probabilidade de sucesso.

De acordo com os resultados encontrados nas simulações as novas proposições chegaram a apresentar até o dobro das resistências encontradas de início seja por uma alteração considerável em sua geometria ou por mudanças sutis nas coordenadas dos furos.

Com base nos estudos e ensaios realizados, foi possível prever de maneira computacional alguns modelos que pudessem resistir a uma maior tensão de compressão uniaxial com relação à uma mesma área líquida transversal, quando comparado com os demais modelos propostos. São eles, P8, P9 e Q9.

Estes modelos podem ser considerados como modelos de grande potencial para serem confeccionados e ensaiados fisicamente, otimizando-se o processo de escolha e extrusão de novos blocos produzidos, minimizando-se também gastos com as devidas adaptações desnecessárias da máquina extrusora (se produzido, demais formatos).

6 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

O trabalho em questão poderá ser aperfeiçoado em próximos trabalhos.

A partir do conhecimento adquirido durante o desenvolvimento desse estudo, algumas sugestões podem ser elaboradas para serem aproveitadas em novas pesquisas:

- Aprofundar as pesquisas relacionadas à modelagem computacional, a fim de se obter resultados cada vez mais realistas com relação às propriedades físicas e químicas do material estudado.
- Refazer as análises numéricas, com base em parâmetros ensaiados fisicamente antes da modelagem computacional, além de calibrar o programa com tais dados obtidos.
- Realização de estudos semelhante, porém para viabilidade de aplicação de blocos com furação na vertical, ou seja, aplicação dos esforços nas faces laterais dos blocos.
- Desenvolvimento de equações empíricas, que relacionem as espessuras com a resistência.
- Simulações de blocos em outras solicitações, combinados com argamassa ou em condições adversas.
- Otimização topológica do modelo, através de uma função de projeto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270:1 Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270: 3 Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2005.

ALVARES, J.O.M.; LINKI, R.R.A. **Metodologia simplificada de cálculo das missões de gases do efeito estufa de frotas de veículos do Brasil.**

ALVES, F. A. **Elementos finitos: a base da tecnologia CAE.** São Paulo: Érica, 2000. 292p. ISBN 85-7194-7414.

ASSAN, A. E. **Método dos elementos finitos: primeiros passos.** 2. ed. Campinas: CLE/UNICAMP, c2003. xiii, 298 p. (Coleção livro-texto) ISBN 85-268-0623-8.

BEER, F. P.; JOHNSTON JR., E. Russell. **Resistência dos materiais.** 3. ed. São Paulo, SP: Makron Books, Pearson Education do Brasil, c1996. xx, 1255 p. ISBN 8534603448.

CERRI, J. A.; EVANIKI, D.; PEDROSO, C. L.; RUY, V. A. e WOSNIAK, A. "**Influência dos furos prismáticos ou cilíndricos na resistência mecânica à compressão de blocos cerâmicos de vedação**", Trabalho Técnico-Científico, apresentado no 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica, em Porto de Galinhas, PE, 2011.

CHEN, W.F.: **Plasticity in Reinforced Concrete, New York , US: McGraw - Hill, 2007. 474p.**

COSTA, A.L.; MORAIS, J.E.N. R.; SCANNAVINO, H. M.; KLEBER, Z. D.; NOGUEIRA, P. T. V. **Poluição do meio ambiente.**

CYBIS, L. F.; SANTOS, C. V. J. **Análise do ciclo de vida aplicada à indústria da construção civil** – estudo de caso. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, XXVII. Anais.

GARDNER, J. **Rehabilitación de minas para el mejor uso del terreno: la minería de bauxita en el bosque de jarrah de Australia Occidental**. Unasyuva, v. 52, n. 207, Roma, 2001, p. 3-8.

GRIGOLETTI, G. C. SATTTLER, M. A.: **Estratégias ambientais para indústria de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul**. jul/2003.

HIBBELER, R. C.: **Resistência dos materiais**. 5. ed. São Paulo, SP: Prentice Hall, 2004. xi, 670 p. ISBN 9788587918673.

HUTTON, D. V.: **Fundamentals finite element analysis**. US: McGraw - Hill, 2004.

JOHN, E. F.: **Estatística Aplicada**, 11 edição, editora Bookman, 2004.

KOPEZINSKI, I. **Mineração x Meio ambiente: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000.

FALCÃO, B. L. A. **Materiais de construção**, volume 2, livros técnicos e científicos editora, 1994.

LAROCA, C. **Habitação Social em madeira: uma alternativa viável**. Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, UFPR, Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2002.

MARLAND, G. T.A. BODEN, AND R.J. ANDRES. 2007. **Global, Regional, and National CO₂ Emissions. In Trends: A Compendium of Data on Global Change.** Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

PALERMO, T. e MUANIS, V. "**Projetos de Sistemas Oceânicos II: Navio de manuseio de âncoras, reboque e apoio a plataforma Offshore - AHTS**", site: (http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/2008/TiagoPalermo+Victor/relat2/index_relat2.htm) acessado em 01/11/2011.

ROODMAN, D.M. and N. Lenssen, "**A building revolution: how ecology and health concerns are transforming construction**", Worldwatch Paper 124, Worldwatch Institute, Washington, DC, 1995

SANTOS, P. de S. **Ciência e tecnologia de argilas.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher. Ltda., 1992. 408p.

SHUZO, M. et al. **Architecture for a sustainable future. Architectural Institute of Japan (AIJ).** Published by Institute for building Environment and Energy Conservation (IBEC). 2005.

SMITH, T. A.; KERSEY, J. T.; GRIFFITHS, P. J. **The construction industry mass balance: recourse use, waste and emissions.** Viridis Report VR4 (Revised). 2002.

SOARES, S. R. (Coord.). **Análise do ciclo de vida de produtos (revestimentos, blocos e telhas) do setor cerâmico da indústria de construção civil.** Relatório Parcial I/IV. 2002. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Engenharia Sanitária-Ambiental.

SOUZA R. A. **Análise de fraturamento em estruturas de concreto utilizando programas de análise estrutural / BAE – INICAMP,** Campinas, SP: [s.n.], 2001.

STACHERA, T.; CASAGRANDE, E. **Avaliação das emissões de CO₂ na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná.** IX ENGEMA – Encontro Nacional sobre Gestão e Meio Ambiente, Curitiba. 2007.

TIWARI, P.; PARIKH, J.; SHARMA, V. **Performance avaluation of cost elective building. A const, emissions and employment point of view.** Building and Enviromenment. V. 31, 1996.

VENKATARAMA, B. V. R.; JAGADISH, K. S. **Embodied energy of common and alternative building materials and technologies.** Energy and Buildings, 35 (2). Elsevier Science Ltd. 2003.

WEBER, C.; CARVALHO, S. **Estatística básica simplificada.** Elsevier editora. 2008.