

UNESP

Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Sobre as considerações de uma concepção de um projeto de um forno cerâmico

Guaratinguetá

2011



GUSTAVO RÉ FRANGUELLI

SOBRE AS CONSIDERAÇÕES DE UMA CONCEPÇÃO DE UM PROJETO DE
UM FORNO CERÂMICO

Trabalho de Graduação apresentado ao
Departamento de Engenharia Civil do Campus de
Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista -
UNESP, como parte dos requisitos para obtenção
do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Wanderley Terri



F827s Franguelli, Gustavo Ré
Sobre as considerações de uma concepção de um projeto de um forno cerâmico / Gustavo Ré Franguelli. – Guaratinguetá : [s.n.], 2011
123 f.: il.
Bibliografia: f. 122

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011
Orientador: Prof. Dr. Antonio Wanderley Terni

1. Fornos 2. Cerâmica I. Título

CDU 662.9

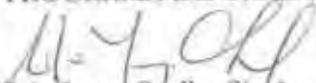
**SOBRE AS CONSIDERAÇÕES DE UMA CONCEPÇÃO DE UM
PROJETO DE UM FORNO CERÂMICO**

GUSTAVO RÉ FRANGUELLI

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL"

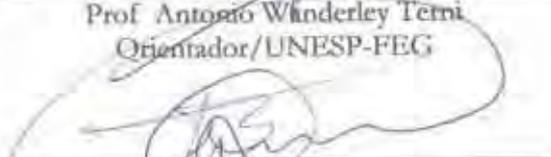
PROGRAMA: ENGENHARIA CIVIL
ÁREA: ESTRUTURAS

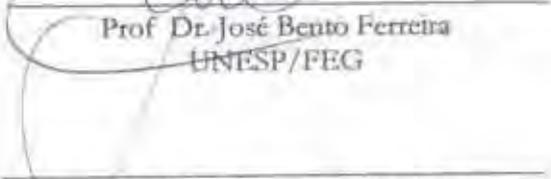
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Sílvio Jorge Coelho Simões
Chefe do Departamento

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Antonio Wanderley Terzi
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. José Bento Ferreira
UNESP/FEG


Prof. Dr. Cleiton Manfredini
UNESP/FEG

Dezembro de 2011

DADOS CURRICULARES

GUSTAVO RÉ FRANGUELLI

NASCIMENTO 23.08.1988 – LARANJAL PAULISTA/ SP

FILIAÇÃO Orlando Franguelli Junior
Sílvia Helena Ré Franguelli

2007/2011 Curso de Graduação
Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista –
Faculdade de Engenharia campus Guaratinguetá.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e de toda força. Agradeço pela minha vida, minha família e meus amigos.

A meus avôs pelo afeto, incentivo, amor e aprendizado que me deram em toda minha vida.

Aos meus pais *Orlando* e *Sílvia* que são a base de tudo e que me ensinaram a persistir nos meus objetivos, sonhos e ajudaram a alcançá-los. Meus pais são os companheiros que não mediram esforços para que eu chegasse e conquistasse esta etapa em minha vida, sempre com muito amor, carinho, paciência e apoio.

A minha irmã *Daniela* que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos e sempre depositou muita confiança em mim.

A todos os membros de minha família pelo carinho, conforto e amor que me deram nesses anos.

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Antonio Wanderley Terni* por seu apoio e inspiração, no amadurecimento dos meus conhecimentos e conceitos, e por todo o tempo dedicado o que foi fundamental para minha vida acadêmica.

A todos meus amigos que me incentivaram e torceram por mim em mais essa conquista.

Aos meus companheiros de república pelo convívio, compreensão e amizade em todos esses anos de faculdade.

E a todos os professores e funcionários da UNESP – Campus de Guaratinguetá, por todos os anos de convívio.

FRANGUELLI, G. R. **Sobre as considerações de uma concepção de um projeto de um forno cerâmico**. 2011. 122 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

Resumo

A atual competitividade do mercado tem gerado a necessidade de minimizar o custo produtivo das empresas em qualquer ramo de atividade, objetivando a redução do custo de produção, o custo aquisitivo dos processos de fabricação e a interrupção dos processos de fabricação para possíveis manutenções. Nesta direção, as empresas buscam métodos de aperfeiçoar e racionalizar sua linha produtiva.

Nas indústrias cerâmicas, o cozimento das peças é a parte do processo produtivo que mais influencia nos custos totais.

A construção do forno e sua manutenção representam grande parcela embutida no custo final do produto cerâmico.

A proposta de uma tipologia de forno para o cozimento das peças que leve em consideração um melhor processo de queima, o conhecimento das causas de patologias e análise de custo aquisitivo, tanto dos materiais constituintes e da mão de obra para sua construção, pode ser de relevante importância para a composição dos custos finais do produto ou na análise do tempo de retorno do investimento.

Propõe-se um projeto racionalizado de um forno que leva em consideração as características positivas dos fornos já construídos e que a experiência já os referendou e, ainda, acrescentam-se outras que, ao final, acarretam uma redução no custo de produção, no custo aquisitivo e no número de patologias oriundas do desgaste dos fornos ao longo do tempo de vida útil.

Portanto, de acordo com as experiências obtidas ao longo dos tempos na construção de fornos e da experiência de fabricação de peças cerâmicas, é proposto um projeto de forno que tenha um aprimoramento em relação àqueles construídos atualmente e que contemplem, entre outros quesitos, economia nos combustíveis para queima, racionalização no processo construtivo.

Palavras chave: forno, cerâmica, tijolo maciço.

FRANGUELLI, G. R. **Considerations and concept of a new ceramic oven project and your auxiliar structure modeling**. 2011. 122 f. Thesis (Graduation in Civil Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

Abstract

The current competitiveness of the market has generated the need to minimize the cost of production companies in any field of activity, aimed at reducing the cost of production, the cost of purchasing and manufacturing processes interruption of manufacturing processes for possible maintenance. In this sense, companies are seeking methods to improve and streamline their production line.

In ceramics industries, cooking the pieces is the portion of the production process that influences the total costs.

The oven construction and maintenance represent a large portion embedded in the cost of the final ceramic product.

The proposal for a type of oven for baking the parts that takes into account a better burning process, knowledge of the causes of disease and cost analysis of purchasing both of the constituent materials and labor for its construction, can be significant importance to the composition of final product costs or time analysis of ROI.

It is proposed a streamlined design of an oven that takes into account the positive characteristics of the furnaces already built and that the experience has endorsed, and also others that are added at the end, lead to a reduction in production cost, the cost income and the number of pathologies arising from wear of the furnace along the lifespan.

Therefore, according to the experiences gained over the years in the construction of furnaces and experience of manufacturing of ceramic, it is proposed a project that has an oven improvement over those now being built and that include, among other topics, economy in fuel burning, streamlining the building process.

Keywords: oven, ceramic, brick.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVO	19
3. FABRICAÇÃO DE PRODUTOS CERÂMICOS	20
4. HISTÓRICO SOBRE A FABRICAÇÃO DE TIJOLOS	24
5. O TIJOLO ATUALMENTE	28
5.1. Fabricação	28
5.1.1. Recebimento da matéria-prima	28
5.1.2. Preparação da massa cerâmica	29
5.1.3. Destorroação primária	29
5.1.4. Separação de metais	29
5.1.5. Separação de pedras	30
5.1.6. Destorroação secundária	30
5.1.7. Laminação	30
5.1.8. Homogeneização	30
5.1.9. Prensagem e moldagem	31
5.1.10. Secagem das peças	31
5.1.11. Queima ou cozimento	32
5.2. Estocagem	32
5.3. Entrega	32
5.4. Patologias oriundas da fabricação	33
5.4.1. Mistura fraca de argilas	33
5.4.2. Mistura arenosa de argilas	33
5.4.3. Mistura forte de argilas	33
5.4.4. Argilas com torrões duros	34
5.4.5. Umidade abaixo do ideal na mistura de argila	34
5.4.6. Umidade acima do ideal na mistura de argila	34
5.4.7. Falta de lubrificação nas formas	35
5.4.8. Falta de regulagem e manutenção nas máquinas	35
5.4.9. Secagem acelerada do tijolo	35
5.4.10. Aquecimento acelerado do forno	35

5.4.11. Resfriamento acelerado do forno.....	36
5.4.12. Retirada das sobras de lenha da boqueta do forno	36
5.4.13. Manuseio incorreto dos tijolos entre os processos de produção	36
5.5. Normas	36
5.6. Controle de qualidade	37
5.7. Aplicações.....	38
5.7.1. Paginação e espessura das paredes.....	38
5.7.1.1. Parede de pano de tijolo ou cutelo.....	39
5.7.1.2. Parede de meio tijolo ou parede singela.....	39
5.7.1.3. Parede de um tijolo ou parede dobrada	40
5.7.1.4. Parede de um tijolo e meio	41
5.7.2. Aplicação em poços ou calçamento	41
5.8. Patologias oriundas da aplicação	42
5.8.1. Recalque diferencial da base de apoio da parede.....	43
5.8.2. Variação de temperatura.....	44
5.8.3. Sobrecargas.....	46
5.8.4. Umidade.....	47
5.8.4.1. Origem da umidade.....	48
5.8.4.1.1. Umidade oriunda por capilaridade.....	48
5.8.4.1.2. Umidade oriunda das chuvas	48
5.8.4.1.3. Umidade oriunda de vazamentos em redes hidráulicas	48
5.8.4.1.4. Umidade oriunda por condensação.....	49
5.8.4.1.5. Umidade oriunda da execução da edificação.....	49
5.8.4.2. Quadro com a origem e os locais de atuação da umidade.....	50
5.8.4.3. Umidade A.....	50
5.8.4.4. Umidade B.....	51
5.9. Vantagens e desvantagens.....	51
6. FORNOS CERÂMICOS.....	52
6.1. Fornos intermitentes	53
6.1.1. Forno circular	55
6.1.2. Forno paulistinha	56
6.1.3. Forno tatu.....	57
6.1.4. Forno móvel.....	58

6.1.5.	Forno caipira.....	59
6.1.6.	Forno garrafão.....	60
6.2.	Fornos contínuos.....	61
6.2.1.	Forno túnel.....	61
6.2.2.	Forno hofmann.....	62
7.	CONSIDERAÇÕES PARA ESCOLHA DO TIPO DE FORNO.....	63
7.1.	Características dos tijolos maciços.....	63
7.1.1.	Formato do tijolo.....	63
7.1.2.	Umidade ideal do tijolo para queima.....	64
7.1.3.	Quantidade de tijolos por lote de queima.....	64
7.2.	Combustíveis utilizados para queima.....	64
7.3.	CETESB.....	67
8.	FORNOS PARA TIJOLOS MACIÇOS.....	67
9.	CONSTRUÇÃO DE FORNOS.....	67
9.1.	Paredes, abóboda ou arco, canais, bancas e chaminé.....	68
9.1.1.	Tijolo maciço.....	68
9.1.2.	Tijolo cunha horizontal.....	69
9.1.3.	Tijolo cunha chaminé.....	69
9.1.4.	Tijolo civo.....	70
9.1.5.	Massa de assentamento.....	70
9.2.	Travamentos e regulagem de fluxo de calor.....	71
9.2.1.	Viga baldrame.....	71
9.2.2.	Pilares de ligação.....	71
9.2.3.	Viga de amarração.....	71
9.2.4.	Cinta metálica de travamento.....	72
9.2.5.	Componentes de travamento das fornalhas.....	73
9.2.6.	Registros.....	74
9.2.7.	Tampa da chaminé.....	75
9.2.8.	Tampa das fornalhas.....	75
9.3.	Manta térmica.....	76
9.4.	Mão de obra, equipamentos e ferramentas.....	77
9.5.	Execução.....	78
9.5.1.	Escavação e canais de ar subterrâneos.....	78

9.5.2.	Bancas, crivos e vigas baldrame	79
9.5.3.	Paredes laterais e fomalhas	80
9.5.4.	Pilares de ligação e vigas de amarração	83
9.5.5.	Abóbodas ou arcos	83
9.5.6.	Chaminé.....	85
9.6.	Tempo de execução	87
9.7.	Capacidade de carga ou tamanho do forno	89
10.	PATOLOGIAS E VIDA ÚTIL DOS FORNOS	90
10.1.	Patologias apresentadas com pouca idade de utilização	90
10.1.1.	Aquecimento acelerado no primeiro ciclo de queima.....	90
10.1.2.	Canais subterrâneos frios.....	91
10.1.3.	Falha na regulagem da cinta de amarração.....	91
10.2.	Patologias apresentadas após muitos ciclos de queima	92
10.2.1.	Fadiga e fissuração das paredes laterais.....	93
10.2.2.	Fadiga, fissuração e ruptura das fomalhas.....	94
10.2.3.	Fadiga e ruptura da cinta de travamento.....	96
10.2.4.	Fadiga e ruptura dos pilares de ligação.....	97
10.2.5.	Fadiga e ruptura da abóboda ou arco.....	98
10.2.6.	Desgaste dos registros e tampa de chaminé e fomalhas.....	99
10.3.	Expectativa de vida útil dos fornos	100
11.	MODELAGEM DO NOVO PROJETO DE FORNO	100
11.1.	Quantidade de tijolos adotados por lote de queima	100
11.1.1.	Quantidade ideal para queima.....	101
11.1.2.	Altura da carga de queima.....	101
11.1.3.	Tipologia da colocação dos tijolos no forno.....	101
11.2.	Posição das fomalhas	101
11.2.1.	Aproveitamento do espaço físico da empresa.....	104
11.2.2.	Dispensável a adoção de elementos de travamento nas fomalhas.....	105
11.2.3.	Redução do número de componentes cerâmicos gastos na construção do forno.....	106
11.2.4.	Redução das perdas de calor para aquecimento das fomalhas.....	106
11.2.5.	Facilidade do empregado em queimar o forno.....	106
11.2.6.	Redução nas manutenções do forno.....	107
11.3.	Largura máxima de um arco	107

11.4.	Espessura das paredes laterais do forno	108
11.5.	Dimensionamento do novo forno	108
11.6.	Adoções e considerações para os canais, bancas e chaminé	110
11.6.1.	Canais de retirada de ar	110
11.6.2.	Bancas	112
11.6.3.	Chaminé	112
12.	VANTAGENS E RESULTADOS DO NOVO PROJETO	113
12.1.	Vantagens de economia de combustível	113
12.1.1.	Aquecimento da fomalha	113
12.1.2.	Perdas de calor pelas fissuras	114
12.2.	Vantagens de custo aquisitivo	115
12.3.	Vantagens relativas à manutenção	118
13.	ANÁLISE COMPARATIVA	119
14.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Forma unitária de madeira para moldagem de tijolo	25
FIGURA 02 – Tijolo Maciço - paralelepípedo	26
FIGURA 03 – Plaqueta maciça	26
FIGURA 04 – Paginação de pano	39
FIGURA 05 – Paginação de meio tijolo	40
FIGURA 06 – Paginação de um tijolo	40
FIGURA 07 – Paginação de um tijolo e meio	41
FIGURA 08 – Fissura diagonal	42
FIGURA 09 – Fissura horizontal	43
FIGURA 10 – Fissura escalonada	43
FIGURA 11 – Fissuras causadas por recalques diferenciais da fundação	44
FIGURA 12 – Fissura causada por movimentação da laje	45
FIGURA 13 – Fissuração causada por carga localizada	47
FIGURA 14 – Fissura em aberturas nas paredes de tijolos	47
FIGURA 15 – Esquema de seção transversal de forno intermitente	54
FIGURA 16 – Forno Circular- abóboda	56
FIGURA 17 – Forno Paulistinha	57
FIGURA 18 – Forno Tatu	57
FIGURA 19 – Forno móvel	58
FIGURA 20 – Forno caipira	59
FIGURA 21 – Forno Garrafão	60
FIGURA 22 – Forno Túnel	61
FIGURA 23 – Forno Hofmann	63
FIGURA 24 – Forno abóboda com máquina para pó de serra na fomalha	66
FIGURA 25 – Caminho de lenha de eucalipto	66
FIGURA 26 – Parede de forno composta por oito tijolos	68
FIGURA 27 – Tijolo cunha horizontal	69
FIGURA 28 – Tijolo cunha para chariné	69
FIGURA 29 – Tijolo cnvo	70
FIGURA 30 – Viga baldrame e ferragens para os pilares de ligação	72
FIGURA 31 – Cinta metálica de travamento	73

FIGURA 32 – Esquema de travamento e regulagem da cinta	73
FIGURA 33 – Travamento metálico da fomalha	74
FIGURA 34 – Esquema de registro em canal de ar	74
FIGURA 35 – Projeto da tampa e cintas de travamento da chaminé	75
FIGURA 36 – Porta para fomalhas	76
FIGURA 37 – Fornos com abóboda de manta térmica	77
FIGURA 38 – Escavação e construção do canal principal	79
FIGURA 39 – Bancas de interligação do forno circular	80
FIGURA 40 – Construção das paredes laterais do forno paulistinha	81
FIGURA 41 – Construção das fomalhas do forno circular	81
FIGURA 42 – Arco da porta do forno - exemplo de abertura na parede	82
FIGURA 43 – Forno construído com as paredes internas de refratários	82
FIGURA 44 – Esquema do molde para execução da abóboda	84
FIGURA 45 – Molde para execução de arco – forno paulistinha	84
FIGURA 46 – Execução de arco em forno túnel	85
FIGURA 47 – Chaminés de tijolo redondas e quadradas e chaminé metálica	85
FIGURA 48-A – Base de concreto armado para chaminé	87
FIGURA 48-B – Paginação de armação dos tijolos	89
FIGURA 49 – Deformação no sistema de travamento da cinta	92
FIGURA 50 – Fissuras nas paredes laterais do forno	93
FIGURA 51 – Fomalha desconjuntada da parede do forno	94
FIGURA 52 – Falta de amarração dos tijolos	95
FIGURA 53 – Cinta de amarração com exposição direta ao calor	95
FIGURA 54 – Boqueta da fomalha destruída	96
FIGURA 55 – Fissura horizontal em forno circular	97
FIGURA 56 – Degraus gerados pelas fissuras horizontais	98
FIGURA 57 – Tijolos desprendidos da abóboda em forno circular	98
FIGURA 58 – Abóboda deformada devido ao longo tempo de utilização	99
FIGURA 59 – Caminho do calor dentro do forno paulistinha	102
FIGURA 60 – Caminho do calor dentro do forno tatu	102
FIGURA 61 – Novo posicionamento das fomalhas	103
FIGURA 62 – Câmara de combustão ao longo de todo o comprimento do forno	104
FIGURA 63 – Construção de fornos um ao lado do outro	105

FIGURA 64 – Traçado do arco do forno	107
FIGURA 65 – Representação da planta baixa do novo modelo de forno	108
FIGURA 66 – Representação do corte interno do novo modelo de forno	109
FIGURA 67 – Representação do canal principal de retirada de ar quente	110
FIGURA 68 – Ligação dos canais com a estufa e com a charminé	110
FIGURA 69 – Dimensões adotadas para os canais de ar quente	111

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Dimensões e tolerâncias do tijolo maciço	36
TABELA 02 – Resistência a compressão do tijolo maciço	37
TABELA 03 – Custo parcial e total do fomo paulistinha	116
TABELA 04 – Custo parcial e total do novo modelo de fomo	117

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 – Origem e locais de atuação da unidade	50
QUADRO 02 – Fases e tempo de construção do forno	88

1. Introdução

O setor de cerâmica vermelha é formado por um grande número de indústrias com diferentes níveis de desenvolvimento tecnológico e capacidade produtiva.

Do ponto de vista tecnológico, algumas apresentam um elevado grau de aplicação do desenvolvimento atingido pelo setor em todo o processo de produção, seja na preparação da matéria-prima, na fabricação das peças, na secagem ou na queima.

Entretanto, a competitividade do mercado tem impulsionado o setor a uma maior concorrência e à necessidade de uma mudança na escala de produção, com consequente aumento na produtividade e redução de custos.

O escopo deste trabalho é desenvolver um aprimoramento e melhoria nos projetos de fornos cerâmicos para que, evidentemente, gere benefícios às indústrias que os empregam.

Os fornos são fundamentais no processo de produção de peças cerâmicas que atualmente têm seu uso voltado, em sua grande maioria, para construção civil.

O bom funcionamento dos fornos é fator relevante para a qualidade e custo final dos produtos e que pode ou não firmar a marca do produto no mercado.

O interesse no estudo deste tema foi motivado a partir da análise de certos tipos de fornos cerâmicos atualmente em uso, basicamente quanto aos seus altos custos de aquisição, às excessivas perdas de calor durante o processo de queima e ao elevado número de patologias apresentadas após seu funcionamento.

Desta maneira, a proposta é desenvolver um forno mais eficiente do ponto de vista da queima dos combustíveis e da concepção de seu projeto construtivo, permitindo uma melhor condição comportamental em relação aos projetos dos fornos atuais.

Para estabelecer condições que reduzam o custo inicial de aquisição e perdas de calor, e que reduzam o número de patologias nas alvenarias dos fornos, algumas alterações tipológicas e dimensionais foram propostas para o forno em análise.

Após as análises de diversos fatores e condicionantes, tais como, tipos de fornos, de combustíveis, de materiais empregados, das técnicas construtivas, das patologias e da quantidade da carga de queima, a tipologia a ser estabelecida para um forno torna-se dependente da escolha dos materiais e das técnicas construtivas e da alteração e composição de projetos existentes para que, finalmente, possa-se desenvolver o modelo proposto.

A partir da concepção de um modelo estabelecido de forno, em função de suas dimensões e geometria, entre outras adoções iniciais e dados obtidos das empresas, pode-se determinar um modelo mais econômico de forno.

Infelizmente não há uma literatura básica que aborde sobre o assunto de maneira genérica ou mesmo específica e que trate sobre as considerações de dimensionamento dos elementos que compõe a estrutura do forno.

A elaboração deste trabalho permitiu valer-se das experiências que a prática recomenda na construção de fornos para estabelecer as considerações básicas, adoções e dados numéricos em relação à concepção dos fornos, levando em conta os tipos de materiais e as técnicas construtivas, inclusive captando-se informações da indústria ceramista, principalmente as localizadas na região sorocabana, no interior do estado de São Paulo.

A tipologia apresentada é então comparada às usualmente utilizadas o que permite, portanto, tecer as observações e análises comparativas para gerar as discussões e conclusões deste trabalho.

2. Objetivo

i. Objetivo geral:

O estudo refere-se a uma proposta de modelagem para o projeto de fornos cerâmicos, visando a redução do custo total de construção, a economia de combustível e a redução das patologias nos fornos, inclusive logo após o seu primeiro funcionamento.

ii. Objetivo específico:

Os tópicos estudados têm a finalidade de:

- ✓ Expor os diversos tipos de fornos cerâmicos e o funcionamento de cada um;
- ✓ Analisar qual o melhor tipo de forno para queima de tijolos maciços;
- ✓ Entender as etapas da execução dos fornos;
- ✓ Apresentar as patologias encontradas após o início dos ciclos de queima;
- ✓ Modificar, dimensionar e aperfeiçoar a concepção de um forno para queima de tijolos maciços e
- ✓ Comparar o modelo proposto com outros fornos já existentes.

Essas análises permitem compor a proposta de um forno econômico, de baixo custo aquisitivo, que apresente maior vida útil e que possibilite menor manutenção preventiva e, principalmente, a corretiva.

Certamente, o projeto propõe reduzir as causas que geram as patologias que geralmente ocorrem nos fornos com as concepções atualmente utilizadas.

Objetiva, também, reduzir o gasto com os combustíveis para queima e minimizar o custo total da execução do forno posto que o projeto assume considerações oriundas das análises de campo recentemente observadas pelo autor deste trabalho, impondo condições de funcionamento mais eficientes e introduzindo outras que não são aplicadas na construção de fornos convencionais.

3. Fabricação de produtos cerâmicos

Dá-se o nome de cerâmica ao produto obtido por meio da moldagem, secagem e queima da argila ou mistura contendo argila.

O emprego de produtos cerâmicos obtidos por processos artificiais é anterior à era cristã.

A própria Bíblia registra o uso de tijolos de adobe na construção da Torre de Babel.

Este tipo de tijolo é constituído de terra crua, água e palha moldado em fôrmas por processo artesanal.

Os povos antigos produziam artefatos domésticos por processos de queima da argila.

A necessidade de construir usando “pedras artificiais” surgiu em lugares onde dificilmente se encontrava a pedra e eram abundantes os solos argilosos.

A grande diversidade de argilas encontradas na superfície da Terra permite que se obtenham produtos cerâmicos com as mais diversas características tecnológicas, abrangendo:

- ✓ Desde produtos rústicos, como tijolos e telhas, até produtos de fino acabamento, como os de porcelana;
- ✓ Desde produtos permeáveis, como velas de filtros, até produtos impermeáveis, como as louças sanitárias;
- ✓ Desde produtos frágeis ao fogo até elementos refratários e resistentes a altas temperaturas e
- ✓ Desde produtos usados como isoladores elétricos até os supercondutores, uma das maiores inovações tecnológicas deste final de século.

Assim, o material utilizado no passado, nos primórdios da civilização, encontra ainda hoje aplicações que vão além da construção civil, como nas indústrias automobilística, eletroeletrônica, espacial e biomédica.

Existem diversas formas de se classificar os materiais cerâmicos como à amplitude do mercado, a heterogeneidade do setor e de acordo com fatores relevantes empregados pelo país.

O Brasil, de acordo com a Associação Brasileira de Cerâmica (ABC), optou por dividir o setor cerâmico em subsetores, ou segmentos como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização.

Dessa forma, pode-se obter a seguinte classificação:

i. Cerâmica vermelha:

Compreende aqueles materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil tais como os tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas e também utensílios de uso doméstico e de adorno;

ii. Materiais de revestimento (Placas cerâmicas):

Compreende aqueles materiais usados na construção civil para revestimento de paredes, piso e bancadas tais como azulejos, lajotas, placas ou ladrilhos para piso e pastilhas;

iii. Cerâmica branca:

Este grupo é bastante diversificado, compreendendo materiais constituídos por um corpo branco e em geral recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor e que eram assim agrupados pela cor branca de massa, necessária por razões estéticas. Dessa forma, é mais adequado subdividir este grupo em *louça sanitária*, *louça de mesa*, *isoladores elétricos para alta e baixa tensão*, *cerâmica artística (decorativa e utilitária)*, e *cerâmica técnica* para fins diversos, tais como, químico, elétrico, térmico e mecânico;

iiii. Materiais refratários:

Este grupo compreende uma diversidade de produtos que têm como finalidade suportar temperaturas elevadas nas condições específicas de processo e de operação dos equipamentos industriais, que em geral envolvem esforços mecânicos, ataques químicos, variações bruscas de temperatura e outras solicitações. Para suportar estas solicitações e em função da natureza, foram desenvolvidos inúmeros tipos de produtos a partir de diferentes matérias-primas ou da mistura destas;

vi. *Isolantes térmicos:*

Os produtos deste segmento podem ser classificados em: (a) *refratários isolantes* que se enquadram no segmento de refratários; (b) *isolantes térmicos não refratários*, compreendendo produtos como vermiculita expandida, sílica diatomácea, diatomito, silicato de cálcio, lã de vidro e lã de rocha, que são obtidos por processos distintos ao do item (a) e que podem ser utilizados, dependendo do tipo de produto, até 1100 °C; (c) *fibras* ou *lãs cerâmicas* que apresentam características físicas semelhantes às citadas no item (b), porém apresentam composições tais como sílica, sílica-alumina, alumina e zircônia, que dependendo do tipo, podem chegar a temperaturas de utilização acima de 2000 °C;

vii. *Fritas e corantes:*

Estes dois produtos são importantes matérias-primas para diversos segmentos cerâmicos que requerem determinados acabamentos. *Frita*, ou vidro fritado, é um vidro moído fabricado por indústrias especializadas a partir da fusão da mistura de diferentes matérias-primas. É aplicado na superfície do corpo cerâmico que, após a queima, adquire aspecto vítreo. Este acabamento tem por finalidade aprimorar a estética, tornar a peça impermeável e aumentar a resistência mecânica. *Corantes* constituem-se de óxidos puros ou pigmentos inorgânicos sintéticos obtidos a partir da mistura de óxidos ou de seus compostos. Os pigmentos são fabricados por empresas especializadas, inclusive por muitas das que produzem fritas, cuja obtenção envolve a mistura das matérias-primas, calcinação e moagem. Os corantes são adicionados aos esmaltes (vidrados) ou aos corpos cerâmicos para conferir-lhes colorações das mais diversas tonalidades e efeitos especiais;

viii. *Abrasivos:*

Parte da indústria de abrasivos, por utilizarem matérias-primas e processos semelhantes aos da cerâmica, constituem-se num segmento cerâmico e entre os produtos mais conhecidos pode-se citar o óxido de alumínio eletrofundido e o carvão de silício.

viii. *Vidros:*

É um importante segmento da indústria cerâmica. Na ciência dos materiais o vidro é uma substância líquida e amorfa que apresenta temperatura de transição vítrea. Atualmente, o termo se refere a um material cerâmico transparente geralmente obtido com o resfriamento de uma massa líquida à base de sílica. É um óxido metálico em sua forma pura, super esfriado transparente, de elevada dureza, essencialmente inerte e biologicamente inativo, que pode ser fabricado com superfícies muito lisas e impermeáveis. Estas propriedades desejáveis conduzem a um grande número de aplicações. E finalmente,

ix. *Cerâmica de alta tecnologia ou cerâmica avançada:*

O aprofundamento dos conhecimentos da ciência dos materiais proporcionou ao homem o desenvolvimento de novas tecnologias e aprimoramento das existentes nas mais diferentes áreas, como aeroespacial, eletrônica, nuclear e muitas outras e que passaram a exigir materiais com qualidade excepcionalmente elevada. Tais materiais passaram a ser desenvolvidos a partir de matérias-primas sintéticas de altíssima pureza e por meio de processos rigorosamente controlados. Estes produtos, que podem apresentar os mais diferentes formatos, são fabricados pelo chamado *segmento cerâmico de alta tecnologia ou cerâmica avançada*. São classificados, de acordo com suas funções, entre outros, em *eletroeletrônicas, magnéticas, ópticas, químicas, térmicas, mecânicas, biológicas e nucleares*. Os produtos deste segmento são de uso intenso e a cada dia tende a se ampliar. Como alguns exemplos, pode-se citar as naves espaciais, os satélites, as usinas nucleares, os materiais para implantes em seres humanos, os aparelhos de som e de vídeo, o suporte de catalisadores para automóveis, os sensores (umidade, gases e outros), as ferramentas de corte, os bñnquedos, o acendedor de fogão, etc.

4. Histórico sobre a fabricação de tijolos

O estudo da história das construções revela que a argila foi um dos primeiros materiais utilizados pelo homem para a edificação, substituindo frequentemente a pedra, de difícil manipulação e, às vezes, inexistente na região circundante, e a própria madeira, imprópria para certas obras e, ocasionalmente, escassa.

Pela disponibilização e facilidade de emprego devido às suas características plásticas, a argila, como no passado, é usada desde a antiguidade na execução de muros de terra socada, como nas construções em tapa e na confecção de adobes.

O emprego do adobe, de barro cru, em paredes e abóbadas antecede historicamente ao do tijolo cozido, que necessita de conhecimento e a utilização de um elemento combustível para a sua queima.

O tijolo parece originário de certas regiões da Ásia, localizadas a leste do rio Eufrates, cujos povos já dominavam a utilização do fogo.

A aplicação de cozimento na fabricação do tijolo permitiu uma melhoria considerável de suas qualidades físicas de solidez, de resistência às intempéries, de flexibilidade de aplicações e durabilidade prolongada, indicando-o para usos especiais.

O tijolo também foi empregado pelas civilizações antigas como ornamento de paredes quando vidrado e decorado, como veículo de comunicação escrita através de representações antropomorfas e zoomorfas e para inscrições epigráficas em sua pasta.

Os estabelecimentos onde se fabricam tijolos são denominados *olarias* que, por sua vez, possuem *fornos* para queima não só de tijolos, mas também de outros produtos cerâmicos, como telhas, ladrilhos, artefatos e utensílios gerais.

As primitivas olarias podem ser consideradas como um dos exemplos mais antigos de indústria na história da humanidade.

A existência destas indústrias sempre demonstrou o grau de desenvolvimento técnico e cultural alcançado por uma civilização.

Basicamente, as olarias compõem-se de um pátio para estocagem da argila, do combustível para queima e do produto final, além de uma ampla área coberta para modelagem e secagem antes da queima.

Evidentemente, as olarias possuem uma área para instalação dos fornos.

Esta configuração tradicional de olaria serve para atender satisfatoriamente toda a sequência de produção do tijolo.

Inicialmente, a produção de tijolos era manual utilizando-se de forma de madeira semelhante ao que se vê na figura 1.



Figura 1 - Forma unitária de madeira para moldagem de tijolo com a marca da olaria (século XIX).

Fome: <http://www.google.com.br/img/pt-BR&tab=wi>

Com a industrialização vinda do desenvolvimento técnico europeu do final do século XVIII e início do XIX, foram criadas máquinas para o fabrico desse material, surgindo daí a automação, que permitia uma elevada produção em série dos tijolos.

As máquinas para fabricar os produtos cerâmicos representavam uma inovação tecnológica, e deram início ao processo de industrialização na área de construção civil mundial.

Nas últimas décadas do século XIX surgem as primeiras olarias a vapor com vultosas produções de tijolos no Brasil.

O tijolo pode ser definido como uma pedra artificial, fabricada de argila e queimada no forno, com formato padronizado e dimensões regulares.

Ao longo dos tempos e de acordo com as civilizações que o produziram, o tijolo adquiriu vários tipos de faces como, entre outras, a triangular, a quadrada, a retangular, sextavada

Em função da variação da espessura, o tijolo também apresentou feições volumétricas como a de um paralelepípedo como mostra a figura 2, com a predominância do comprimento sobre as outras dimensões, e até uma simples plaqueta de barro cozido de pequena espessura, por vezes conhecido também como pastilha, mostrado na figura 3 tendo o comprimento e a largura representando

medidas superiores à da espessura. Este último tipo era frequentemente utilizado para ladrilhamento e revestimento de pisos.



Figura 2: Tijolo Maciço - paralelepípedo.
Fonte: <http://www.google.com.br/imghp?hl=pt-BR&tab=wi>



Figura 3: Plaqueta maciça.
Fonte: <http://www.google.com.br/imghp?hl=pt-BR&tab=wi>

As dimensões dos tijolos não foram sempre constantes, modificando-se de acordo com as condições técnico-construtivas e reduzindo-se com a evolução da sua técnica de fabricação.

Essa redução se deve por facilitar o manuseio, transporte e fabricação.

Assim, tem-se desde os imensos tijolos romanos de pequena espessura, com 60,0 cm de lado por 5,0 cm de espessura, até os tijolos modernos, que têm em média 22,0 cm x 11,0 cm x 5,5 cm, ou seja, o comprimento corresponde a duas vezes a largura, e esta a duas vezes a espessura.

Devido à retração do tijolo gerada pela perda de umidade da mistura, há um ajuste nas dimensões propostas acima, de forma empírica e de acordo com a experiência do fabricante.

O tijolo é uma opção construtiva de custo relativamente baixo, de confecção simples, manipulação fácil e que pode ser empregado construtivamente de diversas formas e de uso mundialmente disseminado.

É um material leve, racional, resistente e em alguns casos de bom acabamento, principalmente para aplicações alvenarias aparentes.

O tijolo apresenta também outras qualidades técnicas e práticas como a de ser isolante térmico e acústico.

Ainda, é importante destacar que:

- ✓ Em função da sua porosidade e rugosidade, adere fortemente na argamassa;
- ✓ Devido às suas dimensões padronizadas e regulares, produz um alinhamento perfeito em paredes de qualquer espessura;
- ✓ Pelo pequeno peso de cada peça é de manejo fácil para o pedreiro e
- ✓ A equilibrada proporção entre as suas três dimensões possibilita variados arranjos com finalidades estéticas e confere a cada peça, individualmente, maior estabilidade e resistência às cargas aplicadas.

O tijolo sempre teve os mais amplos empregos ao longo do tempo na arquitetura mundial ao possibilitar a construção de muros contínuos, pilares e arcos, servindo para resolver satisfatoriamente os mais diversos problemas de ordem prática e para atender às variadas exigências arquitetônicas.

São notáveis os exemplos de realizações como muralhas, pontes, torres, aquedutos, templos, castelos, conventos, armazéns, palácios e casas.

Na forma variante de plaquetas também foi utilizado na confecção de fornos e chaminés, com tijolos refratários, e no revestimento de pisos internos e calçamentos.

5. O tijolo atualmente

A seguir, descreve-se as considerações quanto a produção, transporte, utilização e patologias do tijolo maciço.

5.1. Fabricação:

O processo de produção de produtos cerâmicos consiste, basicamente, em:

- i. Recebimento da matéria-prima;*
- ii. Preparação da massa cerâmica;*
- iii. Destorroação primária;*
- iv. Separação de metais;*
- v. Separação de pedras;*
- vi. Destorroação secundária;*
- vii. Laminação;*
- viii. Homogeneização;*
- ix. Prensagem e moldagem;*
- x. Secagem das peças e*
- xi. Queima ou cozimento.*

Todos os itens têm relevante importância no resultado do produto final, pois qualquer procedimento em desacordo com a boa técnica de fabricação em qualquer etapa descrita acima, acarreta consequências indesejáveis na qualidade do produto, desde a desuniformidade em suas dimensões até produtos mal cozidos que perde, entre outras qualidades, resistência mecânica e à umidade.

5.1.1. *Recebimento da matéria-prima (argilas):*

A compra da matéria-prima pode ser efetuada diretamente nas empresas mineradoras, através de distribuidores, ou vindo de uma fonte própria de matéria-prima.

Antes da entrada no setor de estoque de matéria-prima, a carga deve ter seu volume registrado.

Este procedimento é coloquialmente referido como *avibicar* a matéria-prima.

Em ato contínuo, a matéria-prima é conferida para registros contábeis e de produção, visando à realização do controle do rendimento do processo produtivo e o pagamento aos fornecedores.

5.1.2. *Preparação da massa cerâmica:*

É o processo que, com o auxílio de uma máquina carregadeira, os diferentes tipos de argila utilizados são misturados em suas pré-determinadas proporções.

Diferentes tipos de argila causam diferentes efeitos nos produtos finais, variando desde dureza até mesmo coloração.

A massa cerâmica, aquela dita por vezes de *enxuta*, deve possuir baixa proporção de água em relação à massa de argila, diminuindo, assim, a retração, evitando a deformação excessiva das peças e aparecimento de fissuras. Ao contrário, o excesso de água na mistura causa estas deformações e o aparecimento de fissuras durante os processos de secagem e de cozimento.

5.1.3. *Destorroação primária:*

A trituração primária da massa tem a finalidade de transformar, quebrar ou fragmentar torrões de grandes dimensões, geralmente da ordem de mais de 10 cm, para torrões médios, menores que 10 cm. Este procedimento é necessário para facilitar o processamento da argila nas máquinas da linha de produção, possibilitando uma mistura de massa mais homogênea, inclusive de diferentes argilas oriundas de diferentes minas.

5.1.4. *Separação de metais da massa:*

Consiste em um processo simples onde um ímã é colocado sobre a passagem da massa de argila que se encontra sobre uma esteira rolante e é ligado a um dispositivo de alarme que emite um som quando percebe a presença de qualquer fragmento de metal na massa de argila. O ímã possui relativa sensibilidade, inclusive para detecção de pequenas peças de metal como pregos e parafusos. Tal procedimento é necessário para evitar danos às

máquinas que processará a massa de argila, evitando a paralisação das máquinas para uma possível manutenção e restando o ritmo de produção.

5.1.5. *Separação de pedra:*

As massas de argila vindas dos barreiros contêm impurezas com a situação muito comum de ter a presença de pedras de variados tamanhos, misturadas à massa. Assim como a separação de metais, essa etapa é importante para que as pedras não danifiquem as máquinas que sucedem no processo de fabricação do tijolo e também para que não haja fragmentos de pedra dentro do produto.

5.1.6. *Destorroação secundária da massa:*

Consiste basicamente do mesmo procedimento da destorroação primária mas, desta vez, os torrões médios são transformados em pequenos com no máximo 20 mm de diâmetro.

5.1.7. *Laminação:*

Esse processo é fundamental para a qualidade do produto final. A argila nessa fase é esmagada por dois cilindros lisos rotativos de aço onde, ao final da etapa, o diâmetro de cada torrão é inferior a 3 mm.

Essa etapa garante a redução nas fissuras do produto final, a aparência com faces mais lisas, sem a presença de pequenos vazios em torno de torrões pela falta de preenchimento de material nestes pontos. Garante, também, que a massa de argila possa ser misturada homogeneamente dado que os grãos são reduzidos.

5.1.8. *Homogeneização:*

Este procedimento mecânico é também fundamental no processo de produção. A homogeneização garante que a massa composta de diferentes argilas, porém agora praticamente de mesma granulometria, tome uma mistura equilibrada.

Neste instante, dentro de todo o processo, ajusta-se a proporção de água em relação à massa da argila, tomando-a pronta para a prensagem e modelagem.

A atenção na dosagem ideal de água é fundamental para que as argilas apresentem plasticidade máxima e desenvolvam facilidade na moldagem ainda quando úmidas, para que, posteriormente adquiram a qualidade de máxima resistência quando queimadas e mínima retração durante a secagem.

5.1.9. Prensagem e moldagem:

Essa etapa é a última em que se trabalha com a argila ainda úmida. Consiste em comprimir a massa de argila contra uma forma de metal previamente lubrificada de forma a preenchê-la totalmente.

Desta maneira, o tijolo já encontra-se prensado e posteriormente a essa fase, o forma passa por um arame de corte que corta as sobras de argila regularizando o tijolo para que adquira o formato desejado.

As sobras retornam à máquina de homogeneização para que possam ser reutilizadas.

5.1.10. Secagem:

Após a saída do tijolo da máquina de moldagem ainda úmido, porém geometricamente definido, o produto deve ser encaminhado para a estufa onde permanece por determinado tempo até que a quantidade de água em relação à quantidade de argila tome reduzida. “A secagem é uma das operações mais importantes na fabricação de peças cerâmicas, requerendo cuidados especiais para garantir que a água contida nos produtos seja lenta e uniformemente eliminada por toda a massa cerâmica” (Manual para a Indústria de Cerâmica Vermelha, edição SEBRAE, RJ / 2000).

A secagem adotada pode ser natural, ou seja, pela exposição das peças ao ar ambiente, ou forçada, utilizando o calor liberado pelo resfriamento do forno.

A fim de evitar a ventilação excessiva e a secagem muito rápida das peças, o que provoca rachaduras e deformações, esse processo deve possuir um rigoroso controle.

5.1.11. Queima ou cozimento:

Os tijolos, já secos, são queimados ou cozidos em fornos. A queima é outra etapa fundamental no processo produtivo, pois é nela que o material cerâmico adquire as propriedades para o uso, como dureza, resistência mecânica, resistência às intempéries e aos agentes químicos.

As condições ideais de queima exigem que o forno seja aquecido lentamente, ou seja, nas primeiras horas de aquecimento, a temperatura não deve ultrapassar a 100°C para evitar que o próprio forno aqueça rapidamente e a água contida na mistura evapore muito rapidamente fazendo com que as peças fissurem.

Após as primeiras horas, quando todo o produto contido no forno já estiver sob o efeito de temperatura superior a 100°C, pode-se elevar mais rapidamente a temperatura, até os 500°C.

Quando novamente todo o forno atinge essa nova temperatura, pode-se elevá-la até a temperatura ideal de cozimento que compreende, em média, de 900 °C à 1100°C.

Nessa última exposição à temperatura, os tijolos adquirem a resistência mecânica desejada e que pode ser verificada de maneira expedita pela análise do som “metálico” produzido quando uma peça metálica é batida contra o tijolo.

Esse som é característico dos tijolos bem cozidos e, em contrapartida, quando o som é “seco”, indica que os tijolos estão mal cozidos.

5.2. Estocagem:

Os tijolos, depois de queimados, podem ser armazenados em pátios cobertos o que evita a absorção de água das chuvas, tomando os produtos sempre secos, ou descobertos de forma que facilitem o carregamento para posterior entrega.

Usualmente são armazenados em pilhas de 500 tijolos para facilitar a contagem no instante do carregamento.

5.3. Entrega:

A entrega é feita por meio de caminhões com a quantidade armazenada determinada a partir de seu comprimento. Em alguns casos os tijolos são armazenados em estrados de madeira,

também conhecidos como *pallets*, envolvidos com lâminas plásticas para que não caiam no momento do carregamento e posterior descarregamento, sendo esta opção vantajosa, pois agiliza o estas tarefas.

5.4. Patologias oriundas da fabricação:

As patologias mais comuns e relevantes são:

5.4.1. *Mistura fraca de argilas:*

Em muitos casos, quando as argilas provenientes dos barreiros não possuem as especificações desejadas pelas empresas ceramistas, há uma interferência na mistura final da massa que afeta a qualidade final do produto. Esta queda de qualidade é proporcional ao tipo da matéria-prima, podendo tornar o tijolo desuniforme em relação as suas dimensões ideais ou torná-lo *esfarelento*, ou seja, se desfazendo facilmente com o simples manuseio.

5.4.2. *Mistura arenosa de argilas:*

Uma mistura de argila arenosa pode até resultar em um tijolo de certa qualidade. Comprova-se este fato através da observação de tijolos antigos, feitos manualmente, que possuíam grandes proporções de areia em sua massa. Porém, com o processo de mecanização da fabricação dos tijolos, uma mistura muito arenosa danifica rapidamente as máquinas da linha de produção por conta do desgaste causado pelo atrito dos grãos de areia nos elementos do maquinário. Esta situação gera posterior desuniformidade nas dimensões dos tijolos.

5.4.3. *Mistura forte de argilas:*

Teoricamente, pode-se imaginar que uma mistura dita *forte*, isto é, aquela que possui uma proporção de argila acima da recomendada, resulta em bom produto final. Contudo, misturas com estas propriedades causam trincas nos tijolos em dois dos processos de produção, quais sejam, na secagem e na queima, acarretando perdas indesejáveis dos produtos. Existem, também, por parte dos pedreiros, comentários que tijolos, depois de

cozidos e que resultam em um produto muito resistente, dificultam a trabalhabilidade no assentamento por conta da dificuldade do corte para realização de cantos e recortes nas alvenarias. Por outras palavras, é de bom alvitre que o tijolo possua resistência compatível à necessidade de resistência da alvenaria e no trato ao corte em seu assentamento. Este fato, portanto, conduz a adoção de uma mistura que tome compatível as condições de resistência da alvenaria e manuseio do tijolo.

5.4.4. Argila com pequenos torrões duros:

Na composição da massa, há alguns tipos de argila onde encontram-se pequenos torrões duros que possuem diâmetro médio menor que três milímetros. Esses pequenos torrões não são esmagados no processo de laminação por conta que a distância entre os cilindros que esmagam os torrões estão distantes entre si de, no mínimo, três milímetros. Torna-se indesejável, portanto, este tipo de argila na massa do tijolo, pois acarreta trincas durante os processos de secagem e de queima, causando, assim, fator de perda.

5.4.5. Umidade abaixo do ideal na mistura de argila:

Quando a umidade da massa de argila está abaixo do ideal, os processos de moldagem e prensamento são prejudicados, e ocorre falhas, basicamente, espaços vazios na estrutura do tijolo, reduzindo consideravelmente sua resistência.

5.4.6. Umidade acima do ideal na mistura de argila:

Quando a umidade da massa de argila está acima do ideal, a trabalhabilidade da massa é melhor. Porém, deve-se considerar que, como há uma quantidade maior que a especificada de água em relação à quantidade de argila, a retração do tijolo nos processos de secagem e queima, acarreta uma redução desproporcional das dimensões do tijolo, comprometendo o padrão de qualidade do produto.

5.4.7. Falta de lubrificação nas formas:

Quando o tijolo é prensado e modelado, é necessário lubrificar as formas de metal com óleos especiais, pois, como o processo de produção é contínuo, a mesma forma é utilizada, em média, três vezes por minuto. A falta de lubrificação acarreta que os tijolos adiram nas formas interferindo a continuidade do processo de produção e, em alguns casos, deformando as faces lisas do tijolo.

5.4.8. Falta de regulagem e manutenção das máquinas:

Esta condição pode ser observada em todas as máquinas que fazem parte do processo de fabricação dos tijolos causando patologias no produto final, como, por exemplo, entre outras, trincas pela falta de regulagem e manutenção nos equipamentos que executam a destorroação e laminação, variação nas dimensões pela falta de regulagem no dosador de água da mistura e produtos com diferentes resistências mecânicas pela falta de regulagem e manutenção no equipamento de homogeneização.

5.4.9. Secagem do tijolo muito acelerada:

O processo de secagem tem fundamental importância na qualidade do produto. Caso não haja cautela nesta etapa, todo o lote que está em secagem pode ser comprometido. A princípio, podem ocorrer duas situações indesejáveis relacionadas à secagem acelerada. A primeira é que as *gambetas*, que são pilhas de tijolos espaçados para passagem de ar entre eles, podem tombar e, a segunda é que os tijolos podem trincar devido à exsudação da água do tijolo.

5.4.10. Aquecimento acelerado do forno:

Da mesma maneira que a secagem acelerada, um início de queima mal efetuado pode por em risco total ou parcial o lote de tijolos do forno. Um aquecimento acelerado pode fazer com que os tijolos fissurem devido à rápida exsudação de água da massa, e, conseqüentemente, não possam ser comercializados.

5.4.11. Resfriamento acelerado do forno:

Após a queima do tijolo, o forno é resfriado com cuidado, pois uma brusca queda de temperatura pode causar a perda total ou parcial do lote. Caso ocorra esta situação, o tijolo é coloquialmente dito *chocho*, ou seja, é um tijolo enfraquecido pelo brusco resfriamento e, conseqüentemente, impossibilita sua comercialização.

5.4.12. Retirada das sobras de lenha da boqueta do forno:

Ao término do processo de queima quando a temperatura desejada é alcançada, é executada a retirada das sobras de lenha de dentro das boquetas do forno. Caso isso não ocorra, conforme o forno é fechado e as sobras de lenha terminam de queimar, libera-se uma fumaça escura que produz tijolos com tonalidade escura naqueles que se encontram ainda dentro do forno, causando má impressão aos compradores do produto.

5.4.13. Manuseio incorreto dos tijolos entre os processos de produção:

Antes da queima, o tijolo por ser uma peça de barro, de características de material frágil tem de ser manuseado com cautela, pois qualquer impacto pode danificar seus cantos e arestas, ou até mesmo a quebra do tijolo inteiro. Após a queima, também é necessário o mesmo cuidado para que a qualidade seja garantida.

5.5. Normas:

O tijolo maciço, em forma de paralelepípedo-retângulo, é especificado pela NBR-7170 e padronizado pela NBR-8041, com as dimensões e suas tolerâncias reproduzidas na tabela 1. A NBR-7170 estabelece ainda que, de acordo com a resistência à compressão, determinada pelo ensaio descrito na NBR-6460, o tijolo maciço é dividido em três categorias A, B e C, conforme vê-se na tabela 2.

Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
220 ± 3	110 ± 3	55 ± 3

Tabela 1 – Dimensões e tolerâncias do tijolo maciço.
Fonte: NBR 7170.

Tipo	Resistência à compressão (MPa)
A	1,5
B	2,5
C	4,0

Tabela 2 - Resistência à compressão do tijolo maciço.
Fonte: NBR 7170.

5.6. Controle de qualidade:

O controle de qualidade em uma indústria cerâmica depende diretamente do porte da empresa. Esse controle começa na chegada da matéria-prima e se encerra no descarregamento do produto dos caminhões.

Em todas as partes da fabricação existem rigorosos controles e especificações que devem ser seguidos e que são citados nas normas ou, na maioria das vezes, vindas da experiência de cada empresa ceramista.

No controle de qualidade do produto, a verificação mais importante é a da argila, pois pode interferir em praticamente todas as outras fases da produção.

Em geral, as argilas recebidas são materiais heterogêneos, cujas características dependem da sua formação geológica e da localização da extração.

Para utilização das argilas nos processos industriais cerâmicos é importante e indispensável uma identificação completa do tipo de argila e de suas propriedades para estabelecer quais as formulações e condições de processamento que são adequadas para se obter produtos com as propriedades finais desejadas.

Depois de verificada e comprovada a qualidade da matéria-prima, a próxima etapa é a verificação da dosagem correta dos diferentes tipos de argila. É uma das fases que garante a dureza do produto final.

A regulagem e manutenção do maquinário também é uma fase onde se deve dar importância, pois influencia na aparência final do produto, nas variações de suas dimensões, na resistência mecânica e, se no caso de uma dosagem com excesso ou falta de água, pode influenciar no valor especificado do ensaio de retração e, conseqüentemente, interfere nas dimensões do produto final.

Uma etapa onde muitos ceramistas não dão relevância é na fase da secagem, onde o tijolo perde parte da água contida em sua massa. Esta etapa, realizada com cautela, pode reduzir a quantidade dos combustíveis gastos no cozimento e diminuir a perda de materiais, causada por trincas.

A última etapa da fabricação também deve ser feita com um controle rigoroso, garantindo que o produto final torne-se bem cozido, com a resistência mecânica e cor desejada e sem manchas escuras de fumaça. Tanto no aquecimento como no resfriamento do forno, deve-se fazer o controle da variação da temperatura para evitar as perdas por trincas e tijolos *chochas*.

Mesmo após o cozimento dos tijolos, deve-se ainda realizar os ensaios de retração, de absorção e de resistência mecânica.

O ensaio de retração consiste em determinar qual é a redução das dimensões do tijolo desde que foi moldado até o final do cozimento.

O ensaio de absorção determina a absorção de água, ou seja, permite determinar a porosidade do produto que pode variar conforme a mistura da massa de argila ou a regulagem e manutenção das máquinas.

Por fim, realiza-se o ensaio de resistência mecânica, garantindo que as tensões de compressão e tração determinadas sejam iguais ou superiores às especificadas pela norma.

5.7. Aplicações:

Os produtos cerâmicos possuem vários focos de aplicação.

Possuem a vantagem de serem moldados quando ainda em processo de produção em diversas formas e tamanhos dependendo da exigência do mercado.

No local de utilização podem ser cortados de acordo com a necessidade do projeto e do pedreiro.

O emprego do tijolo maciço é, entre outros, em paredes de alvenaria de vedação, estrutural, aparente, em muros de arrimo, em alicerces, poços e ladrilhamento.

Os tijolos maciços quando utilizados em paredes cujas faces são aparentes são ditas de *tijolos a vista*.

Os tijolos utilizados em situações estruturais podem ser empregados em muros de arrimo, alvenaria, alicerces, poços, etc.

5.7.1. Paginação e espessura das paredes:

A espessura das paredes de alvenaria de tijolos maciços varia em função do seu fim construtivo e do carregamento que devem suportar.

No caso das alvenarias de tijolos maciços, costumasse construí-la com a paginação chamada “com amarração” que não dispõe as juntas na mesma vertical, colocando-as de forma intercalada. A figura 4 mostra uma concepção de parede executada “com amarração”. Tem-se, também a paginação dita “junta prumo” que dispõe as juntas na mesma vertical.

As paginações de tijolos mais empregadas seguem descritas abaixo.

5.7.1.1. Alvenaria de pano de tijolo ou de cinteio:

A alvenaria de pano se dá quando o tijolo é assentado segundo seu comprimento com as juntas verticais desencontradas. A largura de cada tijolo corresponde à altura de cada fiada na parede. Esta configuração é empregada na confecção de paredes provisórias, delgadas, divisórias e sem função estrutural, figura 4.

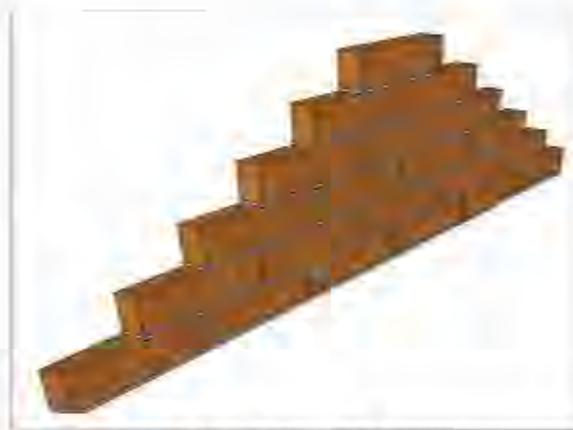


Figura 4 – Paginação de pano.
Fonte: Autor.

5.7.1.2. Parede de meio tijolo ou parede singela:

Na parede de meio tijolo tem-se que o tijolo é assentado sobre sua largura, o que faz a largura da parede corresponder à largura do tijolo.

Este tipo de parede é frequentemente usado em divisões das paredes internas de construções térreas e de andares superiores de sobrados, figura 5.

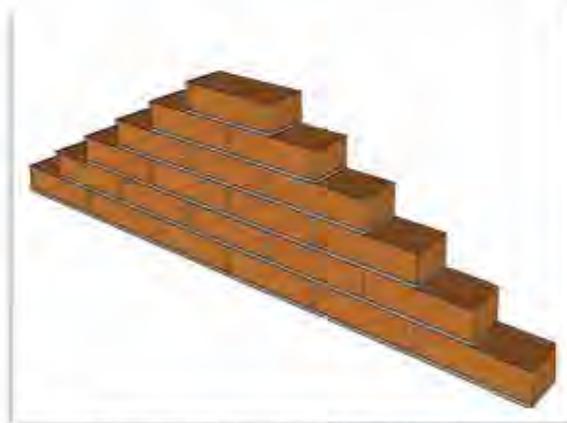


Figura 5 – Paginação de meio tijolo.
Fonte: Autor.

5.7.1.3. Paredes de um tijolo ou parede dobrada:

Na parede de um tijolo o tijolo é assentado de modo que a largura da parede é igual ao comprimento do tijolo ou a duas larguras. Essa paginação é, em geral, empregada em paredes externas de construções térreas, sobrados e alguns alicerces.

Neste tipo de alvenaria podem ser adotadas várias disposições para que as juntas dos tijolos não correspondam, figura 6.

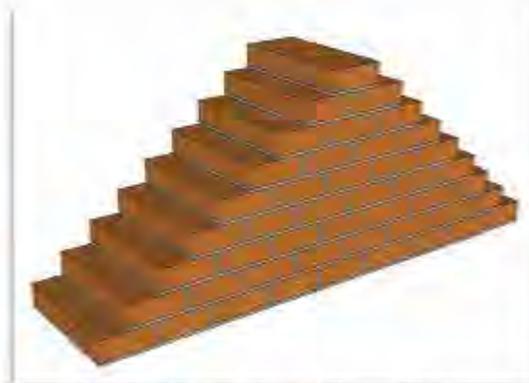


Figura 6 – Paginação de um tijolo.
Fonte: Autor.

5.7.1.4. Paredes de um tijolo e meio:

Nas paredes de um tijolo e meio os tijolos são dispostos de modo que a largura de um tijolo mais o comprimento do outro corresponda a espessura da parede. Essa paginação é muito empregada em alicerces e muros de arrimo por possuir maior estabilidade lateral, considerando-se que as juntas não coincidam, figura 7.



Figura 7 – Paginação de um tijolo e meio.
Fonte: Autor.

5.7.2. Aplicação em poços e calçamento:

A utilização do tijolo maciço na construção de poços e na aplicação em ladrilhamento não é comum, porém atua como um excelente material para este tipo de aplicação. Usualmente, os tijolos utilizados em poços, por ficar em contato direto com a água, têm que ter um cozimento mais apurado de forma que a argila possa adquirir maior resistência após a queima. Em situações onde ainda deseja-se construir poços comuns, a adoção de tijolos está sendo substituída por tubos de concreto, que são encaixados ao longo da altura do poço de forma que componham as paredes de sustentação lateral. Atualmente, para calçamentos e ladrilhamentos, o tijolo não é mais usual, pois as plaquetas de argila, pisos hidráulicos e intertravados e, até mesmo pisos de revestimentos cerâmicos, são mais práticos e de menor custo.

5.8. Patologias oriundas da aplicação:

As paredes construídas com tijolos maciços podem apresentar patologias oriundas das unidades que as compõem.

Entre outras, podem ser causadas por recalques diferenciais, variações de temperatura e de sobrecarga, além da umidade.

É comum nas causas patológicas haver a presença de fissuras nas alvenarias.

As fissuras podem ter diversas designações em função da sua abertura, sendo identificadas como:

- ✓ *Microfissuras:*
Quando a espessura é inferior a 0,2 mm;
- ✓ *Fissuras:*
Quando a espessura varia entre 0,2 e 2 mm e
- ✓ *Fendas:*
Quando a espessura é superior a 2 mm.

Em painéis de alvenaria, as fissuras podem apresentar-se nas direções horizontal, vertical, diagonal ou uma combinação destas.

As fissuras podem atravessar as alvenarias, como se percebe nas figuras 8 e 9, ou podem ser de aspecto escalonado, passando apenas pelas juntas de argamassa, como se vê na figura 10.

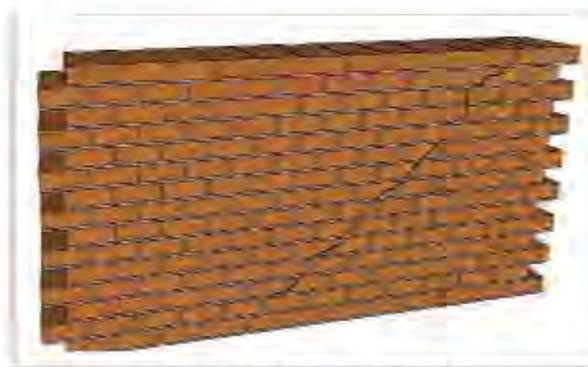


Figura 8 – Fissura diagonal.
Fonte: Autor.

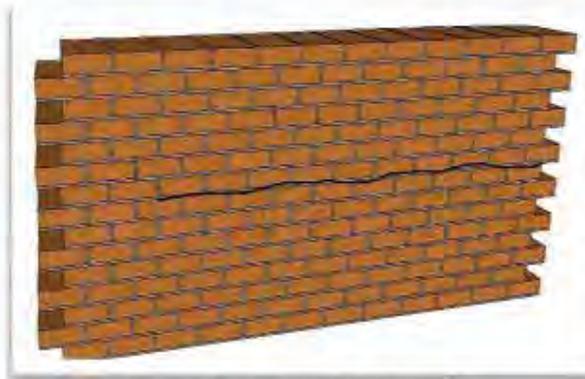


Figura 9 – Fissura horizontal.
Fonte: Autor.

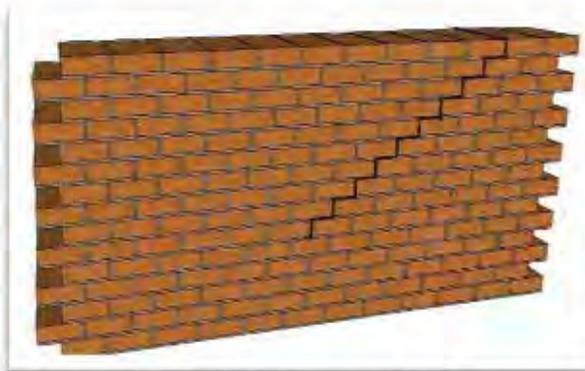


Figura 10 – Fissura escalonada.
Fonte: Autor.

5.8.1. Recalque diferencial da base de apoio da parede:

Os recalques das bases das estruturas podem causar fissuras ao longo da extensão da parede como se pode observar na figura 11.

A maneira que se apresenta a fissura na alvenaria depende de certos fatores, entre eles:

- ✓ Tipo e estado do solo;
- ✓ Disposição do lençol freático;
- ✓ Intensidade da carga, tipo de fundação e cota de apoio da fundação;
- ✓ Dimensões e formato da placa carregada e
- ✓ Interferência de fundações vizinhas.

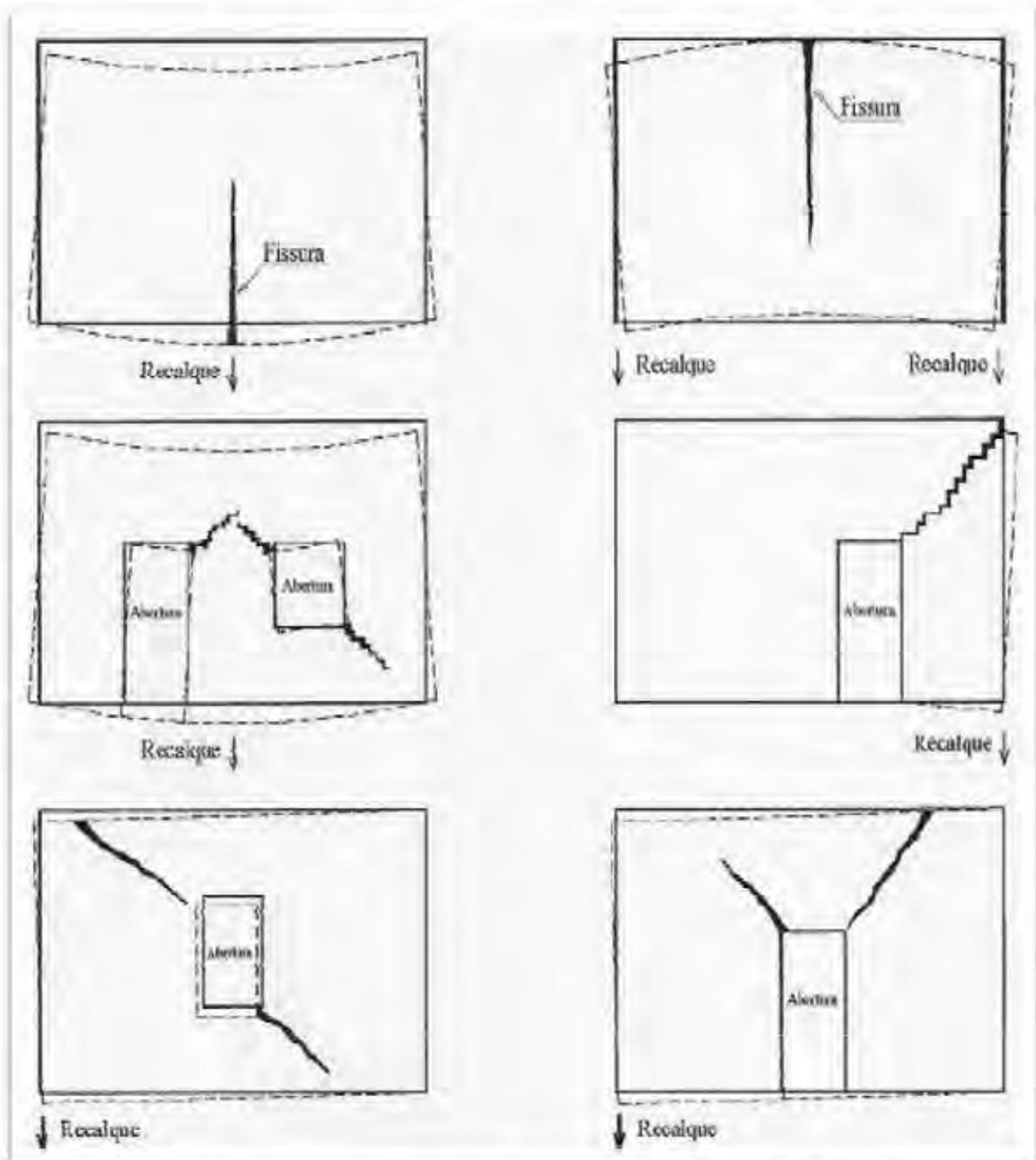


Figura 11 – Fissuras causadas por recalques diferenciais da fundação. Fonte: <http://www.google.com.br/imglp?hl=pt-BR&tab=wi>

5.8.2. Variação de temperatura:

As movimentações térmicas de um material estão relacionadas com suas propriedades físicas e com a intensidade da variação da temperatura.

A magnitude das tensões desenvolvidas é função da intensidade da movimentação, do grau de restrição imposto pelos vínculos e das propriedades elásticas do material.

As fissuras de origem térmica podem também surgir por movimentações diferenciadas entre os componentes do elemento estrutural, como se pode observar na laje da figura 12.

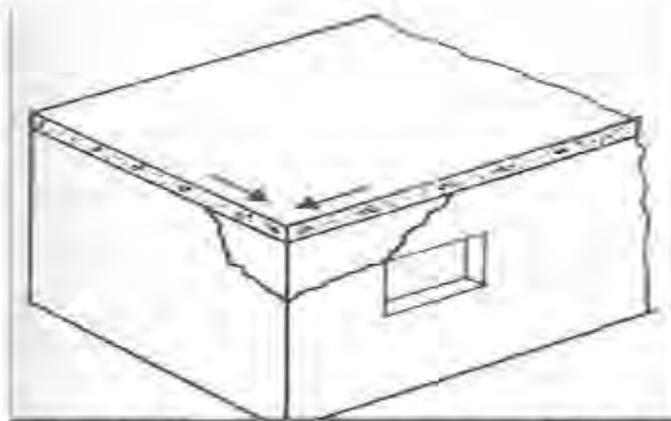


Figura 12 – Fissura causada por movimentação da laje.
Fonte: <http://www.google.com.br/imghp?hl=pt-BR&tab=wi>

As principais movimentações diferenciadas ocorrem em função de:

- ✓ Junção de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, sujeito às mesmas variações de temperatura, por exemplo, movimentações diferenciadas entre argamassa de assentamento e o tijolo;
- ✓ Exposição de elementos a diferentes solicitações térmicas naturais, por exemplo, cobertura em relação às paredes de uma edificação e
- ✓ Gradiente de temperatura ao longo de um mesmo componente, por exemplo, gradiente entre a face exposta e a face protegida de uma laje de cobertura.

No caso das movimentações térmicas diferenciadas é importante considerar não só a amplitude da movimentação, como também a rapidez com que esta ocorre.

Se ela for gradual e lenta muitas vezes um material que apresenta menor resposta ou que é menos solicitado às variações da temperatura pode absorver movimentações mais intensas do que um material ou componente a ele justaposto, o mesmo pode não ocorrer se a movimentação for brusca.

Por outro lado, alguns materiais também podem sofrer fadiga pela ação de ciclos alternados de carregamento e descarregamento ou por solicitações alternadas de tração e compressão.

Todos os materiais empregados nas construções estão sujeitos às dilatações com o aumento de temperatura e às contrações com a sua diminuição.

A intensidade desta mudança dimensional, para uma dada variação de temperatura, varia de material para material.

Para quantificar as movimentações sofridas por um componente, além de suas propriedades físicas, deve se conhecer o ciclo de temperatura a que está sujeito e determinar também a velocidade de ocorrência das mudanças térmicas.

5.8.3. Sobrecargas:

A atuação de sobrecargas com limites superiores aos especificados em projeto podem produzir fissuração de componentes estruturais, como em alvenaria de tijolos.

Em trechos contínuos de alvenarias solicitadas por sobrecargas, uniformemente distribuídas, dois tipos característicos de fissuras podem surgir ou a combinação delas:

- ✓ Fissuras verticais provenientes da deformação transversal da argamassa sob ação das tensões de compressão, ou de flexão local dos componentes de alvenaria e
- ✓ Fissuras horizontais provenientes da ruptura por compressão dos componentes de alvenaria ou da própria argamassa de assentamento ou ainda de solicitações de flexo compressão da parede.

A atuação de sobrecargas localizadas, concentradas, também pode provocar a ruptura dos componentes de alvenaria na região de aplicação da carga e ou o aparecimento de fissuras inclinadas a partir do ponto de aplicação como se observa na figura 13.

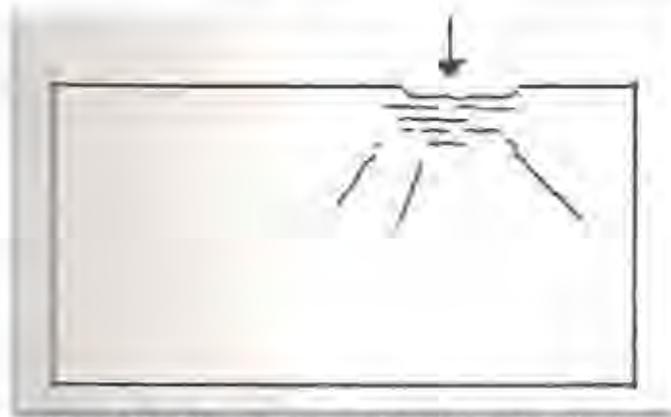


Figura 13 – Fissuração causada por carga localizada.
Fonte: <http://www.google.com.br/imghp?hl=pt-BR&tab=wi>

Nos painéis de alvenaria onde existem aberturas, as fissuras teoricamente formam-se a partir dos vértices dessa abertura e sob o peitoril em função do caminhamento das isostáticas de compressão como se verifica na figura 14

Essas fissuras, entretanto, podem se manifestar segundo diversas configurações, em função da influência de certos fatores, como as dimensões do painel de alvenaria, as dimensões da abertura, a posição que a abertura ocupa no painel, o tipo dos materiais que constituem a alvenaria e as dimensões e rigidez de vergas e contra vergas.

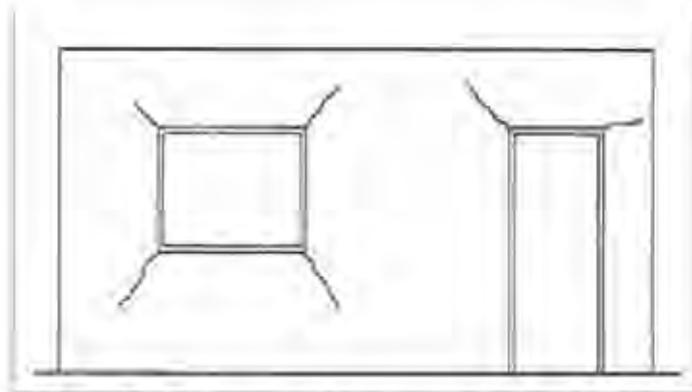


Figura 14 – Fissuras em aberturas nas paredes de tijolos.
Fonte: <http://www.google.com.br/imghp?hl=pt-BR&tab=wi>

5.8.4. Umidade:

A umidade pode causar dois tipos de patologias. Uma relacionada com a *expansão e contração* do volume do tijolo e outra devido às *eflorescências, ferrugens, mofo, bolores, perdas de pinturas e rebocos* e etc.

As análises e considerações são feitas em separado para cada um dos dois tipos, sendo aquela chamada de *umidade A* relacionada à expansão dos tijolos e a relacionada com eflorescências, mofo e bolores de *umidade B*.

5.8.4.1. *Origem da umidade:*

Abaixo descrevem-se algumas considerações sobre as origens das umidades.

5.8.4.1.1. *Umidade oriunda por capilaridade:*

A umidade por capilaridade se trata daquela que ascende do solo úmido (umidade ascensional). Ocorre nos baldrames das edificações devido às próprias condições do solo úmido, bem como a falta de obstáculos que impeçam a sua progressão. Também ocorre devido aos materiais que apresentam canais capilares por onde a água passa para atingir o interior das edificações.

5.8.4.1.2. *Umidade oriunda das chuvas:*

A chuva é o agente mais comum para gerar umidade, tendo como fatores importantes a direção e a velocidade do vento, a intensidade da precipitação, a umidade do ar e fatores da própria construção como a impermeabilização, a porosidade de elementos de revestimentos, os sistemas precários de escoamento de água, dentre outros. Este tipo de umidade pode ocorrer ou não com as chuvas. O simples fato de ocorrer precipitação, não implica em patologias de umidades com esta causa.

5.8.4.1.3. *Umidade oriunda de vazamentos em redes hidráulicas:*

Com as movimentações das edificações, erros no processo de montagem e com a falta do material utilizado de qualidade, as instalações hidráulicas e sanitárias também podem apresentar

vazamentos. Normalmente as instalações estão encobertas pela própria edificação, dificultando a manutenção e gerando patologias danosas para o bom desempenho esperado da edificação.

5.8.4.1.4. Umidade oriunda por condensação:

A umidade de condensação possui uma forma bastante diferente das outras já mencionadas, pois a água já se encontra no ambiente e se deposita na superfície da estrutura e não mais está infiltrada.

5.8.4.1.5. Umidade oriunda da execução da edificação:

A umidade oriunda da execução da construção é aquela necessária para a obra, porém desaparece com o tempo. Elas se encontram dentro dos poros dos materiais, como as águas utilizadas para concretos, argamassas, pinturas, etc.

5.8.4.2. *Quadro com a origem da umidade e os locais onde cada uma pode ser encontrada:*

Origem	Presente em
Umidade oriunda por capilaridade	Solo, através do lençol freático
Umidade oriunda das chuvas	Cobertura (telhados) Paredes e Lajes de terraços
Umidade oriunda de vazamentos em redes hidráulicas	Paredes, telhados Pisos e terraços
Umidade oriunda por condensação	Paredes, forros e pisos Peças com pouca ventilação Banheiros, cozinha e garagens
Umidade oriunda da execução da edificação	Confecção do concreto Confecção de argamassas Execução de pinturas

Quadro 1: Origem e locais de atuação da umidade.
 Fonte: Autor.

 5.8.4.3. *Umidade A:*

A variação da umidade provoca variações dimensionais nos materiais porosos que integram os elementos e componentes da construção. O aumento do teor de umidade produz uma expansão do material enquanto a diminuição desse teor provoca uma contração. No caso da existência de vínculos que impeçam ou restringem essas movimentações podem ocorrer fissuras nos elementos e componentes construtivos. Em tijolos cerâmicos a expansão pode variar de 0,04% a 0,12%, sendo que metade da expansão é verificada nos primeiros meses de idade. As fissuras provocadas por variação de umidade dos materiais de construção são muito semelhantes àquelas provocadas pelas variações de temperatura.

5.8.4.4. Umidade B:

A *umidade B* não é apenas uma causa de patologias mas também age como um meio necessário para que grande parte das patologias em construções ocorra. A umidade é um fator essencial para o aparecimento de eflorescências, ferrugens, mofo, bolores, perda de pinturas e rebocos e até a causa de acidentes estruturais. Pode ser oriunda de vários meios como capilaridade, chuva, vazamentos em redes hidráulicas, condensação e execução da obra.

5.9. Vantagens e desvantagens:

Os tijolos maciços têm algumas peculiaridades em relação a outros produtos cerâmicos, porém sua utilização não é mais dominante no mercado.

A partir das experiências das aplicações desse produto, listam-se a seguir algumas vantagens e desvantagens:

i. *Vantagens:*

- ✓ É excelente isolante térmico;
- ✓ Possui excelente resistência ao fogo;
- ✓ É excelente isolante acústico;
- ✓ Possui boa capacidade de carga à compressão;
- ✓ É fácil de ser cortado pelo pedreiro e
- ✓ Propicia a redução de colunas.

ii. *Desvantagens:*

- ✓ Limitação de vãos livres (sem contraventamentos);
- ✓ Necessidade de juntas de controle de dilatação;
- ✓ Impossibilidade de remoção de paredes portantes;
- ✓ Dificuldade para as tarefas de manutenção nas instalações embutidas;
- ✓ Custo superior em relação a outros produtos semelhantes e
- ✓ Maior peso específico em relação a outros produtos cerâmicos.

6. Fornos cerâmicos

O processo de queima (ou cozimento) é um dos mais importantes de toda a cadeia de produção do tijolo.

Esta etapa é a que possui o maior custo para a empresa devido aos combustíveis utilizados e a mão de obra para movimentação do produto.

Por esses motivos, as cerâmicas buscam métodos e processos que tentam reduzir custos.

Para redução de custos, as medidas mais usuais são a substituição do tipo de forno utilizado na queima e a mecanização nos processos de carregamento e descarregamento dos tijolos no forno.

Atualmente, existem vários tipos de fornos cerâmicos para a produção de tijolos e cada um deles com suas vantagens e desvantagens.

Os fornos são concebidos conforme a região, o tipo de produto e a necessidade de cada cerâmica. Outros aspectos que devem ser analisados são a *logística da indústria*, o *volume de produção* e os *combustíveis disponíveis* na região para serem utilizados no processo de queima.

O forno cerâmico é uma câmara fechada onde os tijolos são armazenados para serem cozidos.

Os fornos possuem dimensões em função de sua capacidade de carga e possuem tipologias dependentes da forma que ocorre o fluxo de calor em seu interior para o cozimento do tijolo.

Para a construção de fornos, dependendo da finalidade, os materiais mais utilizados são os de tijolos maciços, de tijolos refratários ou de tijolos com uma estrutura de aço com manta térmica.

Na prática, o tipo de construção de fornos que gera menor relação custo-benefício é o executado com tijolos maciços por possuírem excelente resistência ao fogo, ser ótimo isolante térmico, ter custo inferior a outros similares e, ainda, possuir facilidade de obtenção do próprio tijolo maciço utilizado na construção de fornos.

A classificação dos fornos é feita pelo tipo de processo de queima e se divide entre *intermitentes* e *contínuos*.

Para as considerações que se seguem, são resumidamente oferecidas as definições de *crivas*, *bancas*, *canais de ar*, *fornalhas*, *cinzeiro*, *boqueta* e *registros*, que fazem parte da constituição dos fornos e são mais detalhadas adiante. Para uma visualização rápida destes elementos, na composição do forno observar a figura 15.

- ✓ *Crivas*: Componentes cerâmicos furados para passagem de calor;
- ✓ *Bancas*: Galerias para passagem do calor;
- ✓ *Canais de ar*: Tipo de tubulação para direcionamento do calor;

- ✓ *Fornalhas*: Local onde ocorre a queima dos combustíveis;
- ✓ *Cinzeiro*: Local onde as cinzas liberadas durante o processo de queima são armazenadas;
- ✓ *Boqueta*: Orifício para colocação dos combustíveis e
- ✓ *Registros*: Controlam o fluxo de calor dos canais.

Abaixo, seguem as descrições dos tipos de fornos intermitentes e contínuos.

6.1. Fornos intermitentes:

Este tipo de forno é caracterizado por dividir a etapa de queima com interrupções ao longo do processo.

As fases deste processo são:

- i. A entrada dos produtos;
- ii. O pré-aquecimento;
- iii. A queima dos produtos;
- iv. O esfriamento dos produtos e
- v. A saída dos produtos.

É o tipo mais usual na maioria dos estados do Brasil por possuir vantagens como o baixo investimento em relação aos outros tipos de processo, a facilidade na manutenção e a limitação nas perdas dos lotes onde ocorre o mau cozimento ou requeima dos produtos.

As vantagens dos fornos intermitentes, entre outras, são de:

- ✓ Simples construção;
- ✓ Operarem com combustíveis de energia renovável, como por exemplo, lenha,
- ✓ Investimento acessível para pequenas empresas;
- ✓ Fácil adaptação a vários tipos de combustíveis;
- ✓ Possuírem simples manutenção;
- ✓ Ocuparem pouco espaço coberto dentro da empresa e
- ✓ Gerarem calor necessário para secar, na estufa, o próximo lote de queima.

Desvantagens dos fornos intermitentes, entre outras, são de:

- ✓ Não serem adequados para produção em grande escala;
- ✓ Serem dependentes da limpeza dos crivos para gerarem uniformidade da queima e
- ✓ Necessitarem de conduzir a queima corretamente pelo forneiro.

Nos fornos intermitentes, o material *em*, que é aquele cujo tijolo esta moldado porém não queimado, é carregado manualmente, empilhando-se os tijolos sobre o piso até o preenchimento de toda a câmara restando apenas o espaço entre eles e entre a abóboda.

Em seguida as portas são fechadas com tijolos já queimados e *barreadas* com argila, para impedir o escape de calor. *Barrear* é a operação de lançar argila na condição de barro mole na porta que possui uma alvenaria de fechamento provisória de tijolos já cozidos simplesmente justapostos.

As fornalhas situam-se nas paredes ao redor da câmara e quando é usual a retirada de calor no resfriamento do forno para a secagem na estufa, são construídos canais subterrâneos interligando os processos.

A figura 15 mostra um esquema de forno intermitente.

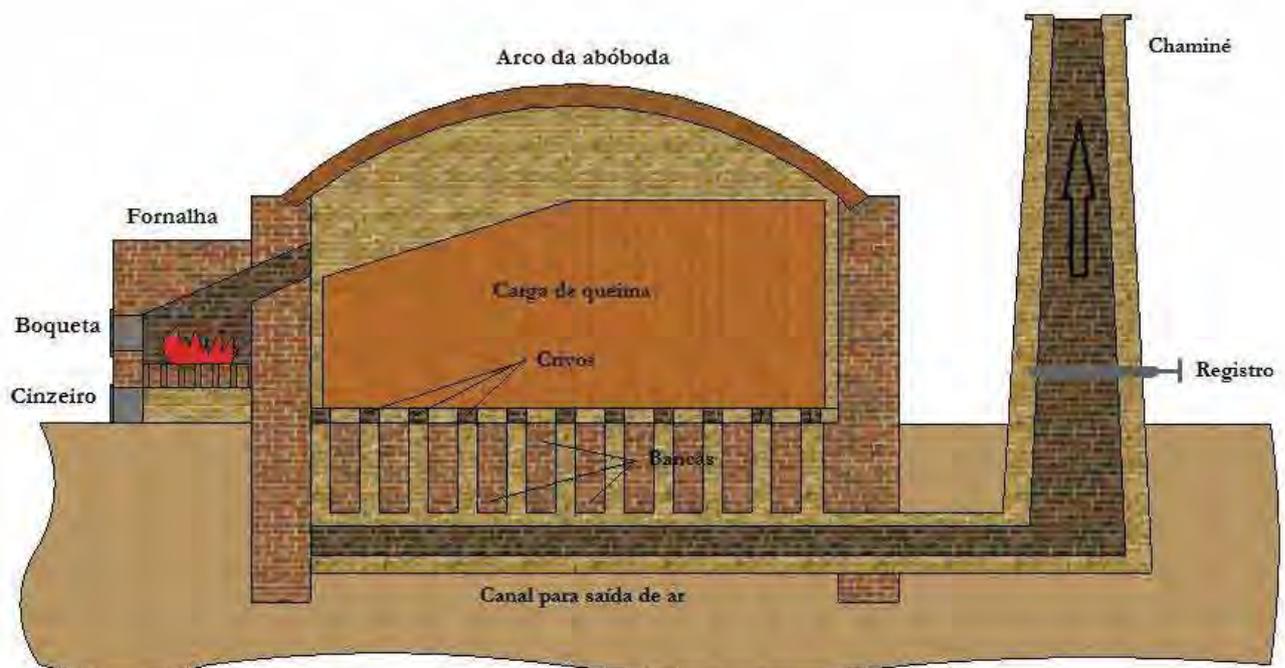


Figura 15: Esquema de seção transversal de forno intermitente. Fonte: Autor.

Dentre essa classificação inicial, ainda existem alguns tipos de fornos, cada um com suas peculiaridades as quais são devidas as necessidades de cada empresa.

Desta maneira, pode-se citar os seguintes tipos de fornos:

6.1.1- Forno circular:

Também conhecido como *forno abóboda*, figura 16, é um dos mais usuais e empregados pelas indústrias cerâmicas.

Tem seu funcionamento basicamente dividido em seis fases, quais sejam:

- ✓ A queima do combustível dentro das fomalhas;
- ✓ A entrada de calor pela parte superior do forno;
- ✓ A passagem e troca de calor pelos produtos;
- ✓ A retirada de calor pela parte inferior do forno, crivos e bancas;
- ✓ A canalização do calor para a chaminé, onde existe um controle de fluxo de calor por registros de metal e
- ✓ A saída do calor pela chaminé.

Em muitos casos, o calor durante o resfriamento do forno após o cozimento pode ser conduzido até a estufa por um canal que parte de uma bifurcação antes da saída para a chaminé.

Esse tipo de forno tem como características principais ser econômico, adaptar-se a qualquer combustível e ser de fácil operação.

Para se obter bons resultados, o controle dos *registros* para regulagem do fluxo de ar quente deve ser rigoroso desde o início do chamado *esquentar*, garantindo que a velocidade de aquecimento seja constante.

Deve-se manter a alimentação das fomalhas e verificar periodicamente as condições dos *crivos* e das *bancas*.



Figura 16: Forno Circular (abóboda). Fonte: Autor.

6.1.2. Forno paulistinha:

O forno paulistinha, figura 17, é retangular e com as fomalhas na lateral.

A seqüência das fases de queima segue a do forno “abóboda”.

Pode ser considerado um forno pouco econômico e de difícil operacionalidade em seu interior por ser estreito.

Neste forno é importante observar o aproveitamento e a distribuição do calor por não haver simetria em relação às fomalhas, podendo gerar peças com colorações e resistências distintas.

O consumo de combustível é maior se comparado com outros tipos, tomando-se neste caso, um custo a ser agregado no produto e, portanto, possivelmente maior do que aqueles fabricados em outros fornos.

Usualmente, para reduzir o custo do produto, o forno deve ter os *cinzeiros* e *boquetas* sempre fechados durante a queima, exceto no momento da colocação do combustível.



Figura 17: Forno Paulistinha. Fonte: Autor.

6.1.3. Forno tatu:

É utilizado principalmente na fabricação de tijolos maciços e blocos cerâmicos.

O forno tatu, figura 18, possui exatamente o mesmo princípio de queima do forno paulistinha sendo que a única diferença são as fornalhas, que no forno paulistinha localizam-se nas laterais, ao longo do comprimento, e as fornalhas do forno tatu localizam-se nas extremidades, ao longo da largura, ao lado das portas.

Como nesse caso o forno só possui duas fornalhas o consumo de combustível é reduzido, porém o tempo de queima é maior em relação aos outros fornos que possuem mais fornalhas.



Figura 18: Forno Tatu. Fonte: Autor.

6.1.4. Forno móvel:

O forno móvel, figura 19, é uma nova tecnologia que ainda não está sendo absorvida pelas indústrias cerâmicas devido ao seu alto custo de montagem.

Porém, sua alta produção e redução de mão-de-obra utilizada lhe conferem uma boa relação custo-benefício.

Basicamente, seu funcionamento é simples e consiste de uma câmara que se desloca sob trilhos para duas posições distintas.

Nele existe um sistema de civos e bancas em ambas posições.

Quando uma parte é posicionada e recebe a carga a ser queimada a outra está em processo de retirada dos tijolos já cozidos. Este processo reverte-se quando a carga anteriormente introduzida inicia-se no processo de queima e a parte retirada sede lugar a uma nova carga de queima. Esta sequência se desenvolve num sistema de vai e vem agilizando sobremaneira o processo de fabricação.

Seu princípio de queima é idêntico ao forno paulistinha, retangular e com fomalhas, porém, neste caso, nas duas laterais.



Figura 19: Forno móvel. Fonte: Autor.

6.1.5. Forno caipira

Um dos mais antigos fornos e ainda utilizado por algumas olarias e cerâmicas de pequeno porte.

O forno caipira, figura 20, teve sua utilização substituída por conta do alto consumo de combustível e, devido a sua concepção, tem restrições junto a CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

Neste forno, não há canalização do calor dispersado para uma chaminé, impedindo o resfriamento dos gases da combustão, liberando gases muito aquecidos para a atmosfera.

Seu funcionamento é um dos mais simples e consiste em uma câmara quadrada ou retangular onde os tijolos são colocados formando na parte inferior do forno pequenos arcos de maneira que o combustível é queimado em seu interior de modo que o calor ascenda para a carga de queima.

Por não haver a presença de arco ou abóboda, os produtos no interior do forno devem ser cobertos com uma camada de telhas cerâmicas, seguida de uma camada de areia para evitar que o calor ascenda antes de aquecer e queimar o lote de tijolos.

Deve-se tomar cuidado para que algumas peças não *requeimem*, ou seja, que as peças não fiquem expostas a um cozimento excessivo, já que o controle de temperatura é limitado e o fogo incide diretamente nos produtos. As boquetas estão localizadas nas duas laterais, porém o combustível deve ser lançado no interior do forno.



Figura 20: Forno caipira. Fonte:
http://olhares.uol.com.br/forno_caipira_olaria_foto1045532.html.

6.1.6. Forno garrafão:

O forno garrafão, figura 21, vem sendo preterido por outras opções, porém é um excelente forno em relação à sua durabilidade, baixa manutenção e baixo consumo de combustível.

Efetivamente, está sendo substituído devido ao alto investimento para sua construção, pois possui paredes e abóbodas duplas fazendo com que seu custo seja praticamente o dobro de um forno circular.

Esse forno tem o funcionamento mais complexo que os outros, posto que o calor faz um caminho mais extenso para ascender até a chaminé.

É um forno circular com paredes espessas e ocas de forma que o calor, vindo das formilhas, passa pelos tijolos e desça para as bancas que são interligadas aos canais internos das paredes e, assim, o calor direciona-se para dentro destes canais internos.

A saída do calor segue o mesmo princípio, passando entre as duas abóbodas do forno e finalmente chegando à chaminé, que se inicia em cima da segunda abóboda.



Figura 21: Forno Garrafão. Fonte: Autor.

6.2. Fornos contínuos:

Os fornos cerâmicos contínuos apareceram como uma solução mais rentável à fabricação dos produtos cerâmicos.

O funcionamento contínuo dos fornos se caracteriza pela ininterrupta queima e a possibilidade de efetuar as diferentes etapas sem variar o ritmo da produção.

Atualmente, há dois principais tipos de fornos contínuos, o *forno hofmann* e o *forno túnel*.

O forno contínuo é de uso restrito pelas indústrias cerâmicas devido ao alto custo de aquisição, a necessidade de manutenção especializada e por conta de um planejamento para uma alta produção, pois a interrupção do processo gera a necessidade de reaquecer o forno, introduzindo um alto custo no processo.

6.2.1. Forno Túnel:

O forno túnel, figura 22, é constituído por uma longa galeria retilínea, com altura e largura relativamente pequenas, comparadas ao seu comprimento que pode chegar a 140 metros.



Figura 22: Forno Túnel.

Fonte: <http://www.google.com.br/imghp?hl=pt-BR&tab=wi>.

Neste tipo de forno, o material se movimenta enquanto o fogo permanece em posição fixa.

O lote a queimar é colocado sobre vagonetas que percorrem lentamente a extensão da galeria. O lote inicia-se no processo de queima ao adentrar na galeria e, aproximadamente à metade do percurso cessa-se a queima e no restante do percurso ocorre o resfriamento do lote que atravessa, então, de uma extremidade a outra sobre trilhos, empurrados por um pistão hidráulico com velocidade contínua localizado na da entrada da galeria.

Em intervalos regulares, uma vagoneta é introduzida na galeria e na extremidade oposta outra é retirada.

A velocidade das vagonetas é contínua e uniforme com relação ao tempo.

Os carros com a carga atravessam lentamente o túnel, em contra corrente com os gases de combustão, tendo-se assim, o pré-aquecimento.

Esses gases são gerados pela queima de combustível na zona central do forno denominada de *zona de queima*.

Nesta zona se atinge a máxima temperatura mantida por certo tempo até aproximar-se da *zona de resfriamento* onde os carros cruzam em contra corrente com um fluxo de ar frio que, por sua vez, se aquece e é aproveitado para secagem de outros lotes.

6.2.2. Forno Hofmann:

Neste tipo de forno o material é fixo e a fonte de calor é móvel.

O *forno Hofmann*, figura 23, é constituído por duas galerias paralelas, unidas nas extremidades por uma passagem para o calor, tendo nas laterais as portas para entrada e saída dos produtos e o combustível é introduzido pelas boquetas, em números de três ou quatro que ficam situadas na parte superior do forno.

Neste tipo de forno, ao mesmo tempo em que ocorre a queima, ocorre a enfoma e desenfoma do material por outras portas e os gases da combustão realizam o pré-aquecimento do material posterior enformado.



Figura 23: Forno Hofmann. Fonte: Autor.

7. Considerações para a escolha do tipo de forno

Algumas considerações sobre o tijolo maciço são relevantes para a escolha do tipo de forno, entre outras, seus aspectos físicos, os combustíveis utilizados na fabricação e até mesmo as considerações da CETESB.

7.1. Características do tijolo maciço:

O tijolo maciço possui algumas peculiaridades em relação a outros produtos cerâmicos quanto ao processo de queima.

Devido a seu formato e tipo de processo de fabricação algumas considerações são importantes antes da escolha dos tipos de forno.

7.1.1. *Formato do tijolo:*

O tijolo maciço tem dimensões pequenas, mas a quantidade de argila que o compõe é considerável e tal fato relaciona-se com a área de exposição do tijolo com o ar para que possa perder a umidade e queimar.

Um paralelepípedo maciço de argila leva mais tempo para secar e queimar do que uma placa grande e fina de argila, como uma telha por exemplo.

Para o tijolo, isto causa a demora da etapa da secagem e da queima aumentando os custos.

Outra condição característica é que durante o processo da queima pode ocorrer o mau cozimento no interior do tijolo devido a sua espessura, reduzindo a qualidade final do produto.

7.1.2. *Umidade ideal do tijolo para queima:*

Após ser moldado, o tijolo é encaminhado para a estufa onde ocorre a etapa de secagem.

A umidade ideal para queima está diretamente relacionada com a qualidade da massa de argila utilizada e com a regulação e o tipo do maquinário empregado.

Cada mistura de argila processada pelas máquinas constitui uma massa pronta para a moldagem. Essa massa pode ser queimada com diferentes taxas de umidade dependendo da quantidade de calor fornecida e a qualidade da massa.

Um problema comum com o tijolo que é encaminhado para o forno relaciona-se com a taxa de umidade e, conseqüentemente, com a possível fissuração do produto.

7.1.3. *Quantidade de tijolos por lote de queima:*

Os tijolos maciços têm um ciclo de produção diretamente relacionado com a quantidade de peças a serem queimadas por lote.

A quantidade de peças a serem produzidas não possui uma relação linear com o aumento de tempo de queima nem com o consumo de combustível.

Por outras palavras, se a quantidade de peças é dobrada não se despende o dobro de tempo da queima e nem o dobro da quantidade de material combustível.

Conseqüentemente, a quantidade de peças por lote de queima é um fator decisivo no custo e tempo de ciclo de produção.

7.2. **Combustíveis utilizados para queima:**

Os combustíveis empregados pelas indústrias cerâmicas e olarias variam de acordo com o produto a ser queimado, a região de localidade da empresa, a disponibilidade de certo combustível nessa região e a quantidade de calor que o combustível gera.

Os possíveis combustíveis utilizados são:

- ✓ Pó de serra;
- ✓ Casca de coco;
- ✓ Palha de arroz;
- ✓ Cavacos de madeira;
- ✓ Gás;
- ✓ Óleo e
- ✓ Lenha.

Das várias opções citadas, as que não adquirem ainda relativa aceitação como combustíveis para queima de produtos cerâmicos são a *casca de coco*, a *palha de arroz*, o *gás* e o *óleo*.

Os produtos anteriormente citados podem possuir dificuldades de fornecimento devido a questões de sazonalidade.

Ainda, possuem restrições relativas a:

- ✓ Liberação de gases escuros que mancham o produto durante a queima;
- ✓ Necessidade de altos investimentos em equipamentos como, por exemplo, na instalação de tubulações e bombas;
- ✓ Dificuldades de estocagem;
- ✓ Possuírem baixo poder calorífico em relação a outros combustíveis derivados da madeira e
- ✓ Instabilidade nos preços.

O *pó de serra* e o *cavaco de madeira* são produtos muito utilizados e, atualmente, não proporcionam vantagens caso sejam lançados nas fornalhas manualmente, pois com a velocidade com que queimam tornam o custo de mão de obra alto. Porém, algumas empresas estão utilizando uma máquina específica que dosa a quantidade exata de combustível para cada fase da queima, figura 24.



Figura 24: Forno abóboda com maquina para pó de serra na fornalha.
Fonte: Autor.

A lenha de eucalipto, figura 25, é um dos combustíveis mais comuns em indústrias cerâmicas na produção de tijolos. Perante os outros combustíveis apresentados, possui um poder calorífico maior, tomando-a uma opção com custo final inferior.

O local de armazenamento do estoque de lenha não possui restrições, devendo ter a princípio, fácil acesso para simplificar o armazenamento propriamente dito e o transporte para a etapa do processo de queima.

O manuseio da lenha é simples e é comercializada em pedaços de, no máximo, um metro e dez centímetros, facilitando a colocação nas fornalhas.

Para facilitar e ter-se uma rápida noção do consumo de combustível por milheiro, é utilizado um fator que relaciona a quantidade de metros cúbicos de lenha gastos por milheiro de peças queimadas.



Figura 25: Carrinho de lenha de eucalipto.
Fonte: Autor.

7.3. CETESB:

A “Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB” estipula restrições em relação ao tipo de combustível utilizado e ao tipo de forno.

Deve-se adotar o combustível e o forno que mais se adéque às exigências.

Caso não ocorram estas adoções, a empresa deve tomar providências como a instalação de filtros e sistemas de resfriamento para os gases ou, até mesmo, a substituição de fornos e combustíveis.

A CETESB restringiu, por exemplo, a adoção do forno caipira por não possuir canalização dos gases, impedindo o resfriamento ou filtragem dos mesmos.

8. Fornos para tijolos maciços:

Dentre os vários tipos de fornos, processos e características apresentados, existem aqueles mais indicados para a queima de tijolos maciços.

Considerando, então, a adoção de um tipo de combustível, do conhecimento da mistura da argila a ser utilizada, do estabelecimento das especificações das dimensões do tijolo, da obtenção das liberações junto a CETESB e da definição da quantidade de peças em cada lote de queima, os tipos de fornos geralmente preferidos pelas empresas são o *forno circular*, o *forno paulistinha*, o *forno tatu*, o *forno móvel* e o *forno garrafão*, todos intermitentes.

A escolha se remete atualmente ao custo de construção e manutenção de cada forno, além do tempo de ciclo de queima.

Entre os fornos citados, os que mais propiciam uma relação custo-benefício interessante são os *fornos circulares* e os *paulistinha*.

9. Construção de fornos

Seguida a escolha do forno, têm-se as fases de projeto e construção as quais são definidos todos os processos e etapas que dependem do bom funcionamento do forno, como os materiais utilizados, a mão-de-obra para sua construção, os equipamentos e ferramentas, a forma de execução, a adoção de novas tecnologias e as retiradas de calor para a chaminé e estufa.

9.1. Paredes, abóboda ou arco, canais, bancas e chaminé:

Em todo o processo de construção de um forno são empregados diversos tipos de materiais. Para os dois tipos de fornos adotados, os materiais utilizados para as alvenarias são descritos a seguir:

9.1.1. Tijolo maciço:

É o principal material na construção do forno.

A maioria das partes da construção de um forno o emprega, tomando-o de maior participação no custo total.

Para o bom desempenho do forno, o tijolo a ser utilizado deve ser bem cozido de forma que suas dimensões não diminuam quando iniciar os ciclos de queima do novo forno e deve ser assentado de forma que se obtenha a melhor paginação de amarração.

A quantidade de tijolos assentados define a espessura da parede do forno.

Usualmente, o mínimo adotado para a espessura das paredes é de três tijolos, compondo assim, uma espessura de aproximadamente 68 centímetros.

Em algumas empresas, a adoção de paredes mais espessas, figura 26, se dá pelo melhor aproveitamento de fluxo de calor, reduzindo-se as perdas de calor pelas paredes, porém aumentando-se o custo aquisitivo do forno.



Figura 26: Paredes de forno composta por oito tijolos. Fonte: Autor.

9.1.2. Tijolo *cunha horizontal*:

O *tijolo cunha horizontal*, figura 27, é empregado para construção de arcos que sustentam as paredes superiores do forno.

Pode ser utilizado na construção de *canais de ar, fornalhas, cinzeiros e portas*.

Similarmente aos tijolos maciços, são assentados com amarração evitando o desprendimento quando estão em contato direto com o calor.



Figura 27: Tijolo cunha horizontal.

Fonte: <http://okriaderosso.com.br/industrial/produtos.php>

9.1.3. Tijolo *cunha chaminé*:

O *tijolo cunha chaminé* é empregado na construção de chaminés.

São fabricados com certos ângulos que dependem do diâmetro desejado da chaminé, figura 28.

São também assentados de forma que evitem juntas verticais, permitindo sempre a amarração dos tijolos.

As chaminés podem ter alturas consideráveis sendo, neste caso, necessário o emprego de cintas metálicas de amarração para garantir a estabilidade.



Figura 28: Tijolo cunha para chaminé.

Fonte: <http://okriaderosso.com.br/industrial/produtos.php>

9.1.4. Tijolo crivo:

O *tijolo crivo* é uma peça fundamental para o bom funcionamento do forno.

Esse tijolo, figura 29, é empregado para estabelecer a interface entre a carga de tijolos no forno e as bancas de retirada de calor.

Também é utilizado como uma grelha entre a fomalha e o cinzeiro.

A paginação ideal dos tijolos crivos está relacionada com as características do forno, do produto a ser queimado e do combustível utilizado.

Como são apenas encaixados, uma possível alteração desta configuração inicial pode ser executada de forma simples, quando o forno estiver vazio.



Figura 29: Tijolo crivo.

Fonte: <http://o-laria.derosso.com.br/industrial/produtos.php>

9.1.5. Massa de assentamento:

A massa para o assentamento dos componentes do forno é composta por areia fina e uma porção de argila.

Em muitos casos, costuma-se adicionar uma porção de melão de cana à massa para conferir-lhe maior elasticidade.

É importante mencionar que todas as faces do tijolo devem estar envolvidas com a massa para evitar o escape de calor pelas fissuras.

A massa de assentamento não pode receber cimento em sua composição, pois à altas temperaturas a mistura não tem bom comportamento por conta de sua elasticidade devido a presença do cimento, causando invariavelmente o aparecimento de fissuras nas paredes.

9.2. Travamentos e regulagem de fluxo de calor:

Para garantir a estabilidade e a durabilidade, o forno necessita da adoção de estruturas auxiliares de travamento.

Essas estruturas auxiliares, na maioria das vezes, são constituídas por elementos estruturais de concreto armado e elementos metálicos.

A seguir, dá-se a seqüência de apresentação das estruturas auxiliares utilizadas no forno:

9.2.1. *Viga baldrame:*

Qualquer forno construído com tijolos possui paredes espessas transmitindo, assim, uma carga para o solo devido ao peso da estrutura do forno.

Semelhante à construção de uma edificação convencional, o forno também necessita de uma fundação para transferir as cargas para o solo.

A viga baldrame, figura 30, é construída sobre o solo compactado ao redor do forno, constituindo-se como um anel de concreto armado.

9.2.2. *Pilares de ligação:*

A partir da viga baldrame são levantadas as paredes. Para garantir que todos os componentes do forno trabalhem em conjunto, são locados pilares de ligação, figura 30, que unem a viga baldrame e a viga de amarração, localizada na parte superior do forno. Por ficarem dentro das paredes, é importante que esses pilares não sejam locados muito próximos da face interna para que não fiquem sujeitos às altas temperaturas dos ciclos de queima.

9.2.3. *Viga de amarração:*

As abóbodas ou arcos dos fornos são componentes que trabalham eminentemente à compressão de forma que seu peso gera uma reação inclinada relativamente aos apoios. No respaldo das paredes e pilares é necessária a colocação de uma viga de concreto armado que os interligue para sustentar a carga oriunda da abóboda ou arco.



Figura 30: Viga baldrame e ferragens para os pilares de ligação.
Fonte: Autor.

9.2.4. *Cinta metálica de travamento:*

Em estruturas de fornos onde existem altas variações de temperatura ocorre uma dilatação e contração nos componentes.

Essa dilatação em muitos casos pode causar fissuras e até mesmo o rompimento da estrutura.

No caso de fornos cerâmicos os componentes que podem causar maior dano à estrutura são as abóbodas ou arcos.

Esses elementos trabalham como uma laje sobre paredes e quando submetidos à variação de temperatura se deformam. Dessa forma, é usualmente adotada uma cinta metálica, figura 31, que envolve o forno evitando que a dilatação exceda um limite predeterminado.

A cinta é constituída por uma barra chata metálica cuja emenda é constituída de suportes, barras rosqueadas, arnelas e porcas, figura 32, permitindo a regulagem para o aperto ou soltura da cinta.



Figura 31: Cínta metálica de travamento.
Fonte: Autor.

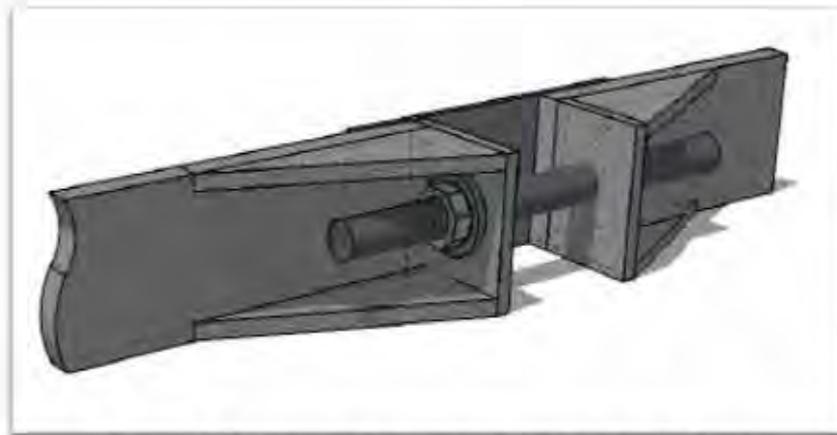


Figura 32: Esquema de travamento e regulagem da cínta.
Fonte: Autor.

9.2.5. Componente de travamento das fornalhas:

Como também fazem parte do forno e recebem as variações da temperatura, as fornalhas devem ter amarração com toda a estrutura.

Essa amarração é simples de forma que, ao concretar os pilares de ligação, são deixados ganchos presos às armaduras que permite, ao término da construção do forno, que sejam soldadas a uma pequena estrutura de metal para o travamento, figura 33.



Figura 33: Travamento metálico da formilha.
Fonte: Autor.

9.2.6. Registros:

Os canais de retirada de ar quente dos fornos podem ter bifurcações para que o calor seja direcionado para a saída desejada, seja para a estufa ou chaminé.

A velocidade da queima está diretamente relacionada com a área de saída do calor, ou seja, quando o forno está ainda em aquecimento é aconselhável reduzir-se a área de saída para diminuir a velocidade de combustão e, quando o forno já passar do nível de esquentado, a área de saída pode ser ampliada, tomando a velocidade de combustão maior. Esse controle de área de saída, na prática, é realizado por um registro de metal, figura 34, colocado em uma posição estratégica, dando controle da quantidade de vazão e um possível direcionamento do calor.

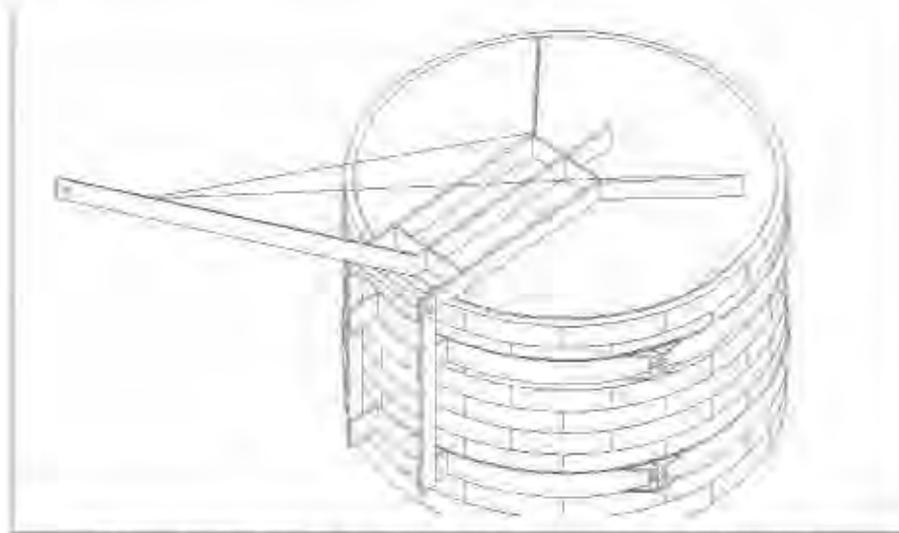


Figura 34: Esquema de registro em canal de ar.
Fonte: Autor.

9.2.7. *Tampa da chaminé:*

Alguns fornos têm o controle do fluxo de saída de calor nos topos das chaminés, em alguns casos nas tampas que se localizam nesses topos.

Como esse fluxo precisa ser regulado conforme as etapas da queima, é necessária a utilização de uma tampa móvel, figura 35, fazendo com que pelo mesmo princípio dos registros, a abertura da chaminé possa ser alterada.



**Figura 35: Projeto de tampa e cintas de travamento da chaminé.
Fonte: Autor.**

9.2.8. *Tampa das fomalhas:*

Durante o processo de queima dos tijolos as fomalhas são abastecidas em determinados períodos de tempo e quando não estão sendo abastecidas devem permanecer fechadas.

Uma porta de ferro fundido, figura 36, é chumbada durante a execução do fomo garantindo a facilidade da abertura para o *forneiro*, que é o operário que abastece o fomo de lenha.

É válido lembrar que durante o processo de queima o empregado deve estar com o EPI correspondente a proteção necessária para a exposição à altas temperaturas, evitando, dessa forma, um eventual acidente.



Figura 36: Porta para formllas.

Fonte: http://www.budny.virtualiza.net/_arq/pno_dutos/

9.3. Manta térmica:

Além dos materiais apresentados, algumas empresas estão utilizando mantas térmicas, figura 37, para isolação da temperatura.

Essas mantas são utilizadas para compor as abóbodas ou arcos e são presas a uma estrutura auxiliar metálica.

As mantas têm melhor isolação ao calor do que o tijolo maciço, tomando-se uma ótima opção às empresas de médio e grande porte.

O custo do material para implantação da manta e estrutura metálica, em uma abóboda para um forno circular de nove metros de diâmetro, segundo pesquisa realizada em 14/10/2011 é aproximadamente R\$ 50.000,00, tomando-a uma opção de custo superior se comparada com a utilização dos tijolos maciços, que tem custo de aproximadamente R\$ 2.900,00.

É relevante mencionar que a isolação da manta é melhor que a do tijolo maciço.

Para o caso da adoção da manta, a economia de combustível é relativamente pequena e não justifica o investimento para pequenas e médias empresas que não têm alta produção mensal.

Os únicos fatores que dificultam seu uso são o alto custo de aquisição e a necessidade de mão-de-obra especializada para uma possível manutenção o que impede e dificulta a substituição de abóbodas e arcos de tijolos maciços por abóbodas e arcos feitos com mantas térmicas.



Figura 37: Fornos com abóboda de manta térmica. Fonte: Autor.

9.4. Mão-de-obra, equipamentos e ferramentas:

Para a execução dos fornos cerâmicos a mão de obra a ser empregada não necessita de especialização.

Os profissionais apenas tendo prática e experiência podem construir o forno.

Todas as etapas da construção são semelhantes a uma residência convencional e apenas os materiais e a velocidade da execução são diferentes.

A prática e experiência de um pedreiro construtor de fornos são fatores que permitem qualificar cada profissional.

A espessura da massa de assentamento, a inclinação da abóboda ou arco, o dimensionamento dos componentes de concreto armado e travamento, a altura da chariné e outras adoções, são acordadas entre a empresa e o pedreiro.

Pedreiros pouco experientes ou empresas iniciantes podem projetar e executar os fornos de maneira indevida com o objetivo de reduzir custos, podendo gerar no futuro patologias que prejudiquem o bom funcionamento do forno ou até mesmo inutilizá-lo.

No processo de construção dos fornos cerâmicos, a maioria das ferramentas e equipamentos são os mesmos empregados para construção convencional, exceto para a execução das abóbodas ou arcos, onde os tijolos são assentados em cima de um molde de madeira com o formato predeterminado da curvatura adotada.

9.5. Execução:

Após a definição e adoção dos itens anteriores é possível iniciar a construção do forno.

As fases da construção são divididas em:

- ✓ Escavação e canais de ar subterrâneos;
- ✓ Bancas, cívos e viga baldrame;
- ✓ Paredes laterais e fomalhas;
- ✓ Pilares de ligação e cinta de amarração;
- ✓ Abóboda ou arco e
- ✓ Chaminé.

9.5.1. Escavação e canais de ar subterrâneos

Para que o local de armazenamento da carga de queima do forno fique em nível com o piso externo, a posição das bancas e canais de retirada de calor devem ser subterrâneas. Assim, no local da construção do forno abre-se um onfício no solo para início da execução onde haverá o canal de retirada de calor para a chaminé, figura 38, e as bancas de interligação, figura 39.

A profundidade da escavação depende da altura adotada no projeto para os canais e bancas, podendo variar entre 1,5 m a 2,5 m, dependendo do tipo do forno a ser construído.

As bancas conduzem o calor para o canal principal de maneira que toda área do forno tenha a chamada *picxada* homogeneia de calor pelos cívos, evitando a desuniformidade de queima no lote.

O canal principal conduz o calor para a chaminé quando o forno ainda estiver em processo de queima ou para a estufa por uma bifurcação do canal quando o forno estiver em resfriamento.

Os canais são feitos com tijolos maciços ou tijolos cunhas horizontais, assentados com massa de areia e argila, massa de assentamento convencional, formando um arco para que o peso aplicado sobre os canais seja distribuído à suas paredes laterais e ao solo.

Em alguns casos, quando a temperatura do ar quente dentro dos canais não for no máximo 60°C esses podem ser construídos por tubos de concreto.



Figura 38: Escavação e construção do canal principal.

Fonte: Autor

9.5.2. Bancas, crivos e vigas baldrame:

As bancas, figura 39, são paredes de um tijolo de espessura, construídas de forma que conduzam o calor ao canal principal.

São feitas com tijolos maciços e massa de assentamento convencional.

O espaçamento que deve ser deixado entre cada parede se remete a quantidade de calor que as bancas conduzem, de maneira que um espaçamento maior libera mais calor que um espaçamento menor.

Esse espaçamento deve ser, no máximo, inferior ao comprimento do tijolo crivo, pois esse componente é apoiado entre duas paredes da banca.

É importante considerar que essas paredes devem ter um espaçamento que permita a limpeza dos frisos.

Conforme o forno funciona e ocorre a queima dos lotes de tijolo, a poeira, a cinza e os cacos liberados pelo processo, vão caindo e se depositando no interior das bancas, obstruindo gradativamente a área da passagem do calor.

Na prática, é aconselhável uma limpeza e manutenção nas bancas a cada cinquenta ciclos de queima conforme a área de saída de calor é obstruída e o tempo de queima e consumo de combustível aumentam.

Essa limpeza é realizada pela retirada dos tijolos crivos, que estão apenas encaixados e através de um procedimento de raspagem com pequenas pás metálicas são retirados os detritos acumulados no fundo das bancas.

Posterior a limpeza, os tijolos crivos são encaixados em suas posições, possibilitando a continuidade nos ciclos de queima.



Figura 39: Bancas de interligação do forno circular.
Fonte: Autor.

9.5.3. Paredes laterais e fornalhas:

Após a conclusão dos canais, bancas e a colocação dos crivos, pode-se iniciar a construção das paredes laterais, figura 40, e das fornalhas, figura 41.

O procedimento de execução corresponde a de uma parede comum de tijolos, respeitando a paginação e quantidade de tijolos para definir a amarração e espessura da parede do forno.

No caso em que existam pilares de ligação, é importante deixar o espaço para preenchimento com concreto na parte interna da parede e um pequeno orifício na base de cada pilar, para verificar se o concreto preencheu todo o volume.



**Figura 40: Construção das paredes laterais do forno paulistinha.
Fonte: Autor.**



**Figura 41: Construção das fomalhas do forno circular.
Fonte: <http://www.google.com.br/imghp?hl=pt-BR&tab=wi>.**

Nas paredes laterais devem-se respeitar os espaços vazados, figura 42, que servem como porta e passagem do calor da fomalha para o interior do forno.

Na região das portas e passagem de calor, normalmente é empregado o tijolo cunha horizontal, figura 27, e o arco formado pode sustentar o peso das paredes e da abóboda sem interferir na abertura.



**Figura 42: Arco da porta do forno - exemplo de abertura na parede.
Fonte: Autor.**

Algumas empresas optam por executar a parte interna do forno e das fornalhas com tijolos refratários, basicamente nas partes que estão em contato direto com o calor intenso, figura 43. Estes tijolos especiais resistem melhor ao calor do que os tijolos maciços convencionais e permitem reduzir os custos com manutenção nestas partes.

A título de vislumbrar uma redução da manutenção do forno há, porém um aumento, considerável do valor de investimento inicial devido ao tijolo refratário ter um custo da ordem do triplo do tijolo maciço comum.

Normalmente as empresas que aderem a esse recurso são as que constroem os fornos contínuos tipo túnel, cuja característica principal é a alta produção e funcionamento sem interrupção.



**Figura 43: Forno construído com as paredes internas de refratários.
Fonte: <http://www.google.com.br/imghp?hl=pt-BR&tab=wl>.**

9.5.4. *Pilares de ligação e viga de amarração:*

Com as paredes laterais e fomalhas prontas é possível dar início a concretagem dos pilares de ligação e da viga de amarração. O procedimento é equivalente à concretagem de uma viga com a diferença que as formas são as próprias paredes de tijolos.

9.5.5. *Abóbodas ou arcos:*

A fase mais complexa da construção de um forno é a execução da abóboda ou arco. Esta etapa caracteriza a principal fonte de patologias de um forno.

Para a execução da abóboda do forno circular é construído um gabarito em madeira à semelhança de um compasso com uma haste curvada que gira concêntrico ao forno em torno de todas as paredes laterais, formalizando, assim, o molde na posição correta para o assentamento dos tijolos.

Essa haste curvada é sustentada por uma estrutura auxiliar que após o término da construção da abóboda é desmontada e removida de seu interior, como se pode observar na figura 44.

Os tijolos são assentados por fiadas, uma fiada a cada volta do gabarito, formando assim anéis de diâmetros cada vez menores a medida que se aproxima o topo da abóboda do forno.

É importante mencionar que se a massa de assentamento for espessa, aproximadamente mais de meio centímetro, conforme a experiência demonstra, a estabilidade da abóboda pode ser comprometida durante as fases futuras da queima.

Na definição da curvatura da abóboda é necessário levar em consideração que nenhuma fiada de tijolo deve ficar sem inclinação, ou seja, nenhuma fiada pode ter os tijolos assentados na vertical.

Dessa maneira, a abóboda pode ceder, conforme ocorram os ciclos de queima do forno e as expansões e relaxamentos causados pelas altas variações de temperatura.



Figura 44: Esquema do molde para execução da abóboda. Fonte: Autor.

Já no forno paulistinha, onde é empregado apenas um arco, pode-se construí-lo em cima de um molde de madeira ou metal, figura 45, que respeite a curvatura adotada. Da mesma maneira que nas abóbodas, os tijolos não podem ser assentados na vertical para evitar patologias e a perda de estabilidade do arco.

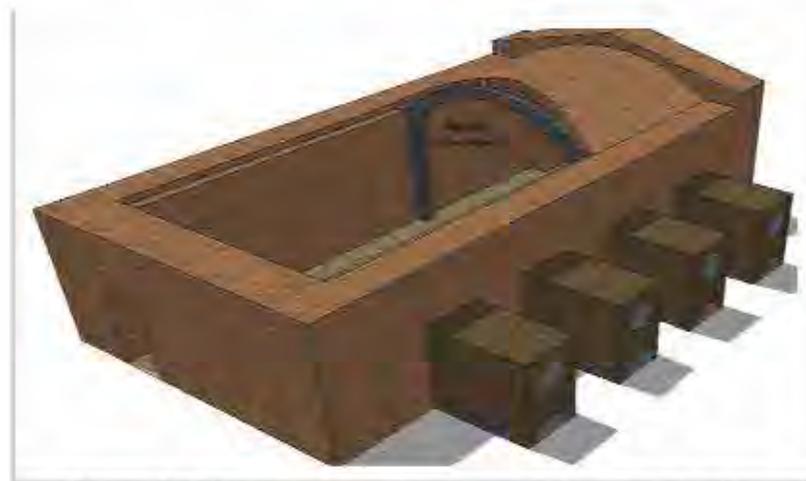


Figura 45: Molde para execução de arco – forno paulistinha.
Fonte: Autor.

Conforme os tijolos são assentados, figura 46, o molde é deslocado de forma que todo o arco seja construído sob a modelagem e curvatura padrão deste molde. A espessura da massa de assentamento segue o mesmo critério das abóbodas dos fornos circulares, não podendo exceder a meio centímetro. As fiadas de tijolos são assentadas de maneira aleatória seguindo apenas uma amarração para evitar juntas paralelas.

Caso existam juntas verticais, podem ocorrer, após o início do funcionamento do forno, perdas de calor, instabilidade estrutural do arco e o seu desabamento.



Figura 46: Execução de arco em forno túnel – tijolos assentados com amarramento, sem juntas verticais.

Fonte: <http://www.gcota.com.br/img/Trabalho%2016.jpg>

9.5.6. Chaminé:

É parte fundamental para o bom funcionamento e para a economia de tempo e do combustível do forno, figura 47.

São componentes importantes e que devem receber atenção na sua execução, pois são responsáveis por conduzir os gases liberados da queima do combustível, resfriá-los e, em alguns casos quando as chaminés possuírem tampas móveis, regular a quantidade de saída de calor.



Figura 47: Chaminés de tijolo redondas e quadradas e chaminé metálica.

Fonte: <http://www.panoramio.com/photo/34864876>

A altura de uma chaminé depende de variáveis como:

- ✓ A quantidade de fornos que emitem calor;
- ✓ O tamanho dos fornos;
- ✓ A distância entre os fornos e chaminé e
- ✓ A localização da empresa dentro do perímetro urbano ou rural.

A altura e o diâmetro da chaminé aumentam na razão direta de fatores como a quantidade de fornos a ela ligados, das dimensões dos fornos e da posição relativa da empresa do município. Esses fatores são tais que devem fazer a chaminé vencer o fluxo de saída de calor.

Se a empresa estiver localizada em um bairro urbano a chaminé deve ser alta de maneira que os gases não prejudiquem os moradores e, caso contrário, pode gerar multas à empresa ou a necessidade da construção de uma nova chaminé com maiores dimensões. Para a indústria cerâmica, usualmente as chaminés são construídas com tijolos maciços ou cunhas.

Em raras situações são adotadas chaminés de tubos metálicos. Todavia sua utilização não é aconselhável devido à alta temperatura dos gases e a exposição ao tempo, que reduz sua vida útil, tornando-a inadequada.

A forma da seção transversal da chaminé é uma adoção feita pela própria empresa e pode ser circular ou quadrada, variando conforme sua altura e largura da base essa.

A adoção mais corrente, e possivelmente coerente, é a de seção circular, pois o efeito do vento é menos rigoroso para circulares em relação às de seção quadrada considerando-se que estas chaminés possuam dimensões proporcionais semelhantes.

A base das chaminés deve ser coerentemente dimensionada tomando em conta que é um elemento estrutural esbelto, com base de dimensões pequenas em relação à altura e, portanto, deve-se proceder a uma análise coerente de sua estabilidade.

Usualmente as cerâmicas adotam vigas baldrame de concreto armado, como ilustrado na figura 48.

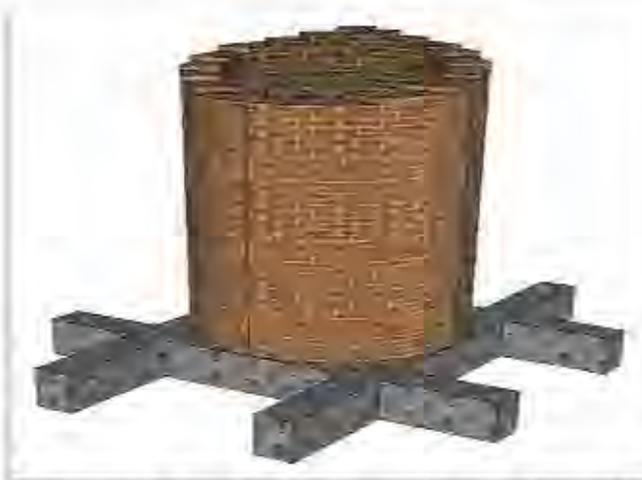


Figura 48 A: Base de concreto armado para chaminé.
Fonte: Autor.

A massa de assentamento deve ser diferente da utilizada no forno. A chaminé invariavelmente fica exposta ao tempo e, portanto, sem nenhuma proteção contra chuvas, não pode ser construída com massa de assentamento de argila e areia.

Normalmente é utilizada uma mistura de areia, argila e uma porção de cimento, para garantir que a massa de assentamento consiga estabelecer uma estrutura estável e segura.

9.6. Tempo de execução:

O forno cerâmico possui algumas peculiaridades que o torna único em relação a sua execução como os canais de ar quente, fornalhas e chaminés.

A execução é rápida considerando a grande quantidade de tijolos assentados.

Por exemplo, para um forno circular de diâmetro de nove metros e capacidade de carga para oitenta mil tijolos, são utilizados em média cento e dez mil tijolos maciços, mil cento e cinquenta tijolos crivo e duas mil peças de cunhas, horizontal e de chaminé.

A quantidade de componentes cerâmicos para construir esse tipo de forno é grande. Para realizar o assentamento destes componentes são gastos em torno de 44 m³ de argila arenosa, o que representa aproximadamente quatro caminhões basculantes carregados com esse material.

A montagem das armaduras dos pilares e vigas e suas concretagens também exigem atenção e tempo, para que não haja nenhum erro esse procedimento é feito com cautela.

Esses números são elevados se comparado com uma residência de porte médio, porém a técnica de execução e a prática dos pedreiros reduzem consideravelmente o tempo da construção se relacionado com uma residência.

9.7. Capacidade de carga ou tamanho do forno:

A quantidade de tijolos por lote de queima é determinada de forma empírica pelas indústrias cerâmicas.

Para o caso estudado dos tijolos maciços, normalmente a quantidade de tijolos por lote de queima, quando já existir o forno ou para dimensionar o forno de forma que caiba certa quantidade predeterminada de tijolos, é analisada a partir da maneira da arrumação dos tijolos dentro do forno. Na prática, as cerâmicas adotam a colocação conhecida como “*três por três*” ou “*dois por dois*”, figura 48B. Dessa forma, toma-se simples determinar a quantidade de tijolos por carga de queima do forno.



Figura 48 B: Paginação da arrumação dos tijolos dois por dois e três por três.
Fonte: Autor

A colocação dos tijolos em *três por três* representa a disposição de três tijolos em um comprimento de vinte e dois centímetros, ou seja, a largura de cada tijolo. É possível, portanto, estipular a quantidade de tijolos por metro quadrado que gira em torno de sessenta e duas peças.

Essa quantidade representa uma altura de onze centímetros, tendo a quantidade de fiadas determinada pela divisão entre a altura interna do forno e a altura de cada camada.

Nos casos onde o forno já está construído, a determinação da quantidade de peças por lote de queima é feita de modo que a área interna do forno é multiplicada por sessenta e dois tijolos para a disposição de *três por três*.

Para a determinação do número de fiadas e da carga total de queima realiza-se a divisão da altura interna do forno por onze centímetros.

Um forno paulistinha, por exemplo, de área igual a 48 m² e 2,20 m de altura, comporta um número de peças por lote de queima de aproximadamente sessenta mil tijolos.

A determinação do tamanho do forno, antes de sua construção, pela quantidade de peças a serem queimadas segue o raciocínio exposto acima.

Para a colocação dos tijolos de *dois por dois*, a conta segue o mesmo princípio e a única diferença é que a quantidade de tijolos por metro quadrado é de quarenta e duas peças.

10. Patologias e vida útil dos fornos

As altas variações de temperatura que os fornos são submetidos em seus ciclos de queima geram um grande desgaste na estrutura de alvenaria.

Esses desgastes podem gerar desde o aumento do consumo de combustível do forno à sua condenação.

Nos tipos de patologias apresentados abaixo, as perdas de calor são frequentes o que implica em aumento relativo no consumo de combustível por milheiro de peças queimadas e, também, aumento no tempo do processo de queima gerando, conseqüentemente, aumento no custo final dos produtos.

Também é válido lembrar que para todos os tipos de fissuras encontradas, a solução mais aceitável e rápida é o *barreamento* com massa de assentamento no local da patologia, evitando parcialmente e temporariamente as perdas de calor.

10.1. Patologias apresentadas com pouca idade de utilização:

Com o forno já construído e pronto para o funcionamento, nos primeiros ciclos de queima, alguns cuidados devem ser respeitados para prolongar a vida útil do forno e seu bom rendimento no consumo de combustível.

Os itens descritos abaixo contêm considerações sobre esses cuidados.

10.1.1. *Aquecimento acelerado no primeiro ciclo de queima:*

O primeiro ciclo de queima de um forno é de grande importância para todo o resto de sua vida útil. Quando o forno é construído devido a suas paredes espessas, a umidade contida na massa de assentamento é vagarosamente dispersada. Em muitos casos, quando se inicia o primeiro ciclo de queima, essa umidade ainda está presente no interior das paredes e deve ser eliminada de forma lenta, evitando que as paredes

do forno fissurem. Para que não ocorram essas fissurações, o primeiro ciclo de queima deve ser lento e durar, no mínimo, duas vezes e meia o tempo de queima normal na fase de aquecimento. A forma prática de se evitar essa patologia é carregar o forno com a carga de queima e iniciar o aquecimento do forno de forma lenta e gradual, para garantir que toda a umidade contida nas paredes seja eliminada.

10.1.2. *Canais subterrâneos frios:*

Uma situação comum encontrada em cerâmicas é o caso onde os canais de retirada de ar quente são construídos em cotas profundas, superiores a 1,50 m. Nessa situação, algumas vezes, podem deixar os canais de retirada de ar quente com temperaturas frias e impedir parcialmente a “puxada” de ar pela chaminé, atrasando os ciclos de queima.

Para evitar esta falha no processo de fabricação, é necessário também o aquecimento lento do forno, para garantir que todas as partes aqueçam gradativamente. Para perenizar esse procedimento é recomendável que os ciclos de queima sejam sempre contínuos, de forma que os canais e bancas do forno nunca esfriem e sempre tenham a temperatura em torno de 60°C.

10.1.3. *Falha na regulagem da cinta de amarração:*

O aperto da cinta de amarração é feita exclusivamente de forma empírica e não existe um padrão a ser seguido para esta regulagem.

Devido às altas variações de temperatura que os componentes do forno estão expostos, é necessário que haja uma folga para que a abóboda ou arco se movimente e, posterior a isso, a cinta começa a trabalhar com os esforços oriundos das variações dimensionais do forno.

Quando a cinta está muito justa relativamente ao forno, não permite que a abóboda ou arco desloque livremente a borda e impede qualquer deslocamento deste componente. Nesta situação a cinta está tracionada, bem como as barras que compõem o sistema de travamento e regulagem. Esta condição por vezes deforma a cinta e as barras de regulagem, como se observa na figura 49

Algumas vezes, se a regulagem da cinta for com um aperto excessivo e a cinta se ajustar à abóboda, pode ocorrer uma ruptura quando a abóboda estiver solicitada à variação de temperatura gerada pela queima.

Esta ruptura pode inclusive permitir que a abóboda desmorone e, mesmo com a cinta ajustada, esta por sua vez pode não ter experimentado a ruptura.



Figura 49: Deformação no sistema de travamento da cinta.
Fonte: Autor.

Nos casos em que a cinta está frouxa a situação é oposta. A abóboda ou arco, neste caso, não possui uma estrutura de contenção que impeça de se movimentar até certo limite, podendo também ocorrer sua ruptura devido a cinta não estar retendo o deslocamento da borda da abóboda e, portanto, não limitando o deslocamento no apoio.

Na prática, o aperto ideal na cinta de amarração é feito conforme o forno estiver aquecendo, até que na parte superior interna do forno, atinja os 300°C. Essa consideração é feita de modo que a abóboda ou arco se desloquem livremente até o forno atingir tal temperatura e que, posteriormente, a cinta metálica de amarração comece a receber os esforços oriundos da deformação desses componentes.

10.2. Patologias apresentadas após muitos ciclos de queima

As variações dimensionais causadas pelas mudanças de temperatura nos fornos causam fadigas e desgastes em seus diversos componentes, após vários ciclos de queima.

Esses problemas ao longo da utilização do forno causam diversas patologias, descritas abaixo.

10.2.1. *Fadiga e fissuração das paredes laterais:*

Após muitos ciclos de queima, o forno começa a apresentar sinais de desgaste devido às variações dimensionais de suas paredes. Para este caso, conforme o forno é aquecido, ocorre uma expansão perimetral dessas paredes, o que causa, após muitas queimas, o aparecimento de fissuras, figura 50, que vão aumentando e se espalhando de acordo com o número de vezes que o forno foi utilizado.

É relevante citar que essas fissuras são geralmente escalonadas, pois nos fornos, a massa de assentamento é mais fraca que o tijolo.



**Figura 50: Fissuras nas paredes laterais do forno.
Fonte: Autor.**

Outro fator que também influencia no aparecimento deste tipo de patologia é a velocidade de queima por ciclo, ou seja, se o fomeiro subir muito rapidamente a temperatura interna do forno, a face externa das paredes não acompanhará a expansão perimetral, ocasionando assim fissuração nas faces externas das paredes.

Na prática, o aparecimento dessas fissuras é inevitável, as únicas formas de melhorar essa patologia podem ser a adoção de produtos que tomem a massa de assentamento mais elástica, ou o aumento do número de tijolos que compõem a espessura das paredes laterais, deixando-a mais rígida e espessa.

10.2.2. *Fadiga, fissuração e ruptura das fomalhas:*

A geometria variável dos componentes do fomo faz com que eles trabalhem de formas diferentes, sendo necessária então a adoção dos sistemas de travamento e amarração para o caso das fomalhas.

Nelas muitas vezes ocorrem o aparecimento de fendas devido ao mal amarramento das fiadas de tijolos, ou a falha no sistema de travamento de cada uma.

Na figura 51 pode-se notar a soltura por completo da fomalha na parede lateral do forno, que foi causada pela deficiência no chumbamento dos componentes de travamento.



**Figura 51: Fomalha desconjuntada da parede do forno.
Fonte: Autor.**

Já na figura 52, nota-se a soltura da fomalha devido à falta de amarração dos tijolos assentados entre a fomalha e as paredes laterais do forno.



Figura 52: Falta de amarração dos tijolos.

Fonte: Autor.

Um problema muitas vezes despercebido pelas empresas, é quando a fomalha se solta da parede do fomo e, pela fenda aberta, o calor a altas temperaturas incide diretamente na cinta metálica de amarração como representado na figura 53.

Essa patologia não interfere no comportamento das fomalhas, e sim no desempenho da cinta metálica de amarração, pois quando submetida a altas temperaturas o módulo de elasticidade do aço reduz, gerando uma perda considerável na resistência mecânica da cinta.



Figura 53: Cinta de amarração com exposição direta ao calor.

Fonte: Autor.

A solução mais comum para este tipo de patologia é realizada ainda na fase de construção do forno, pois com o forno pronto uma reforma deste tipo não é economicamente viável.

Deve-se, durante a construção do forno, garantir que os componentes de amarração das formilhas estejam devidamente chumbados aos pilares de ligação e que exista uma boa amarração e paginação no assentamento dos tijolos.

Outra situação muito comum é a soltura dos tijolos da parte interna e nas boquetas das formilhas, devido ao contato direto com o fogo e ao choque mecânico que ocorre quando o forneiro coloca a lenha em seu interior, figura 54.

Para solucionar esta patologia, é necessário que se desmonte os tijolos soltos e seja feita uma raspagem, para posterior assentamento de novos tijolos, recuperando assim o formato inicial da formilha.



Figura 54: Boqueta da formilha destruída.

Fonte: Autor.

10.2.3. Fadiga e ruptura da cinta de travamento:

Os esforços gerados pela deformação dimensional, oriundos das altas variações de temperatura, podem ser consideráveis partindo-se do princípio que os fornos são aquecidos da temperatura ambiente até aproximadamente 1100 °C.

Quando as barras de aço são tracionadas e relaxadas por muitas vezes, e são submetidas a variações de temperatura, ocorre um desgaste no aço que com o passar do tempo reduz sua resistência mecânica. Com isso, em algumas situações específicas,

é necessária a substituição da cinta de travamento para evitar um possível problema na abóboda ou arco.

10.2.4. Fadiga e ruptura dos pilares de ligação:

Quando a abóboda ou arco do forno é aquecido, sua deformação não é equivalente a deformação das paredes laterais do forno, em função de suas diferentes formas geométricas e da cinta metálica de travamento, que atua somente nas abóbodas ou arcos.

Esse diferente comportamento gera um esforço horizontal cortante, que cisalha as paredes laterais.

Na maioria das vezes esse esforço gera fissuras que podem circundar toda a extensão do forno.

A fissuração gerada por essa patologia é normalmente horizontal, figura 55, e ocorre pela falha no funcionamento dos pilares de ligação.

Quando ocorre o rompimento desses pilares, normalmente as fissuras horizontais aparecem várias vezes ao longo da altura da parede, gerando degraus, figura 56, entre os tijolos.



Figura 55: Fissura horizontal em forno circular.
Fonte: Autor.



Figura 56: Degraus gerados pelas fissuras horizontais.
Fonte: Autor.

Uma forma de evitar esse tipo de patologia é a adoção de um maior número ou o reforço dos pilares de ligação durante o projeto e execução do forno.

10.2.5. Fadiga e ruptura da abóboda ou arco:

Quando realizada a regulagem correta da cinta metálica de travamento, as abóbodas ou arcos podem trabalhar durante muitos ciclos de queima. Porém, conforme seus desgastes de tantas dilatações e relaxações, esses componentes apresentam alguns problemas. Nos casos em que a cinta metálica de travamento é desgastada e já ocorreu uma deformação por fadiga, as abóbodas geralmente desprendem alguns tijolos, de forma que apenas parte de sua área total seja comprometida, como se pode observar na figura 57.



Figura 57: Tijolos desprendidos da abóboda em forno circular.
Fonte: Autor.

Existem também casos onde as abóbodas simplesmente, por já terem sido submetidas a ciclos de queima muitas vezes, se deformam e adquirem um formato irregular e diferente do adotado para sua construção, como se pode observar na figura 58.



Figura 58: Abóboda deformada devido ao longo tempo de utilização.

Fonte: Autor.

Para os dois casos apresentados acima a solução é simples, porém necessita de tempo e parada no processo de queima do forno.

Na primeira situação o pedaço de área que está comprometido deve ser reformado, ou seja, os tijolos soltos são retirados e assentados novamente com massa de assentamento.

Já para a segunda situação, é necessária a substituição da abóboda, de forma que ela seja toda desmontada e refeita, e seja também realizada a substituição da cinta metálica de amarração, para que possa trabalhar em conjunto com a nova abóboda.

10.2.6. Desgaste dos registros e tampas de chaminé e fomalhas:

Como os registros, tampas de chaminé e fomalhas são construídos com chapas e perfis de ferro e ficam em contato direto com o calor, a cada certo período de tempo devem ser substituídos. Essa substituição depende do número de ciclos de queima e das condições climáticas do local onde está instalada a empresa.

A substituição é feita de forma simples e sem interromper o processo de queima do forno, sendo apenas retirada a peça comprometida e substituída por uma nova.

10.3. Expectativa de vida útil dos fornos.

O tempo de vida útil de um forno não pode ser estimado de forma empírica ou teórica.

Este fator depende do número de ciclos de queima que o forno foi submetido, do tempo de cada ciclo de queima e a condução que o fomeiro leva durante esse processo.

Na maioria das vezes os fornos são reformados total ou parcialmente, dependendo do problema a ser resolvido.

Apenas em alguns casos, após muitos problemas com patologias e reformas os fornos são condenados e destruídos.

Caso haja uma limpeza periódica dos canais e bancas, um cuidado constante na colocação das lenhas nas fomalhas e uma atenção nas deformações da abóboda ou arco, os fornos cerâmicos podem durar mais do que oitenta ciclos de queima, sem necessitar de nenhum tipo de reforma.

Posterior a isso, os fornos já necessitam de algum tipo de intervenção, como reforma das boquetas e fomalhas, troca de registros e tampas, entre outras.

11. Modelagem do novo projeto de forno.

A modelagem do novo projeto de forno deve ser baseada em algumas considerações importantes que acarretarão nos objetivos deste trabalho.

A idéia de se modelar um forno de baixo custo de aquisição, econômico e de longo tempo de vida útil se baseia em todas as considerações citadas anteriormente, de forma a analisá-las e empregá-las de forma coerente.

Para essa nova concepção, serão adotados dois tipos de fornos como modelos principais o *forno paulistinha* e o *forno tam*, sendo que essa nova idéia se baseia na modificação e aperfeiçoamento deles, juntamente com outras características de outros fornos.

As etapas dessa modelagem seguem as considerações abaixo.

11.1. Quantidade de tijolos adotada por lote de queima

○ número de peças por lote de queima, para posterior dimensionamento do forno, é determinado após analisados os fatores descritos abaixo.

11.1.1. Quantidade ideal para queima:

Para tijolos maciços a prática recomenda uma quantidade aproximada de trinta mil peças por lote de queima. Esse número é empregado pela rápida velocidade de enformar e desenformar as peças do forno e o menor tempo de queima e resfriamento dos tijolos da carga de queima.

11.1.2. Altura da carga de queima:

A altura da carga de queima em grande parte das empresas é adotada como a altura máxima que um empregado consegue empilhar os tijolos dentro do forno sem ter que sair do chão, ou seja, a altura que ele consegue colocar os tijolos apenas se levantar os braços, que é em média 2,20 m.

11.1.3. Tipologia da colocação dos tijolos no forno:

Na maioria dos casos a arumação dos tijolos dentro do forno é feita com o padrão de *três por três*. Dessa forma, pelas considerações feitas em 9.7, pode-se obter a área interna necessária do forno e a quantidade de fiadas de tijolos empilhados ao longo de sua altura. Para estas condições a área interna é de 25m² com 20 fiadas de altura, totalizando-se cerca de 31.000 tijolos por lote ou carga de queima.

11.2. Posição das fomalhas

No forno paulistinha as fomalhas são construídas ao longo de seu comprimento, de forma que liberam o calor em direção da curvatura do arco, como se pode observar na figura 59 e posterior a isso o calor desce na carga de queima.

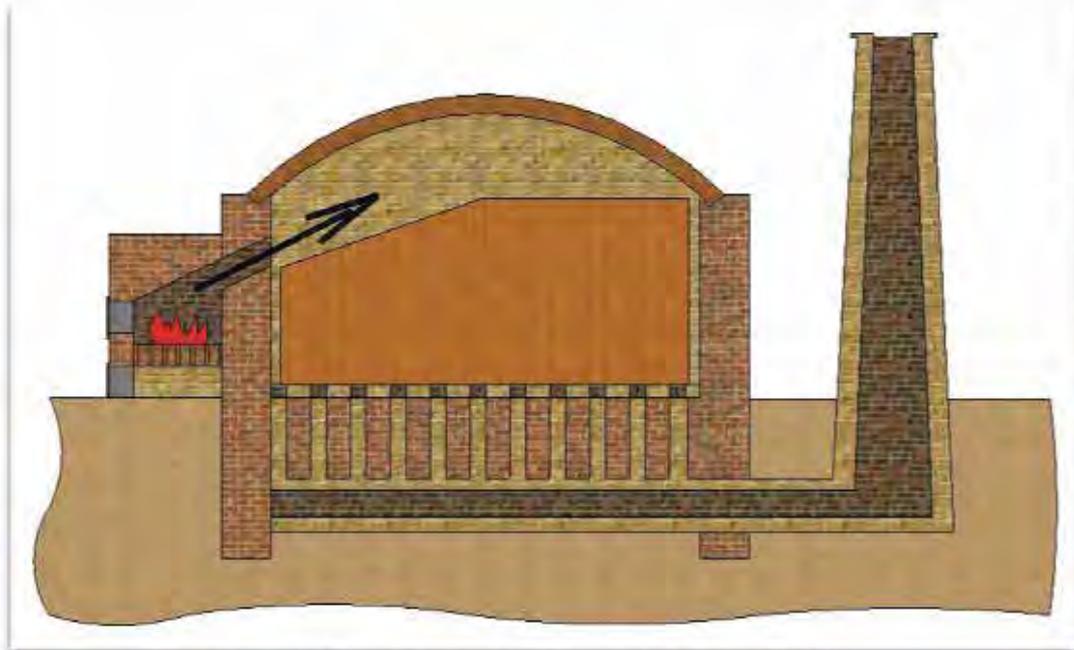


Figura 59: Caminho do calor dentro do forno paulistinha.
Fonte: Autor.

Já no forno tatu as fomalhas são posicionadas ao longo de sua largura, de forma que liberam o calor em direção paralela ao arco, como se pode observar na figura 60 e posterior a isso o calor desce na carga de queima

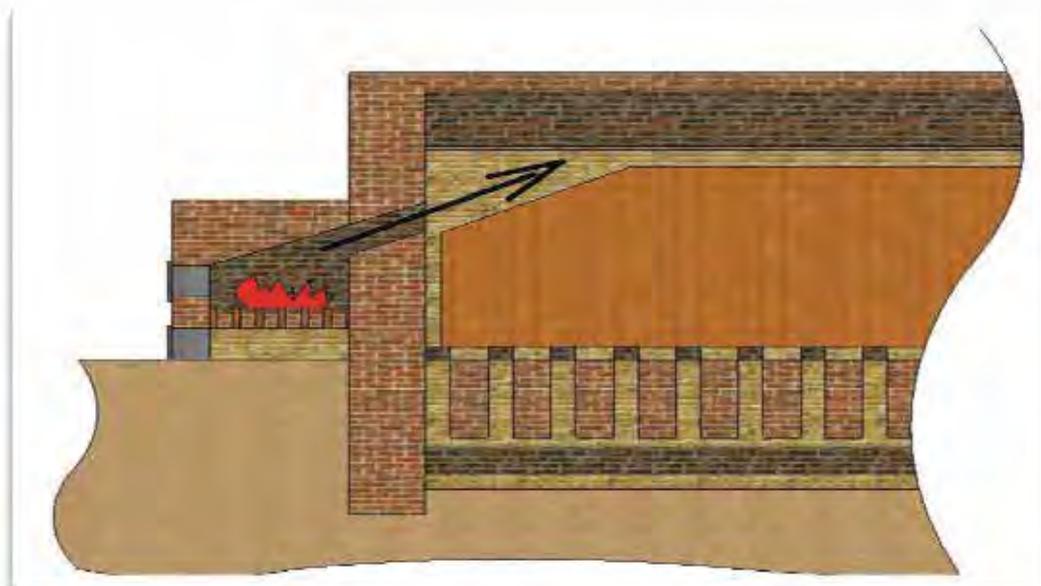


Figura 60: Caminho do calor dentro do forno tatu.
Fonte: Autor.

O princípio de fluxo de calor do forno paulistinha é mais adequado para os tijolos maciços e o número de fomalhas do forno tatu propicia maior economia de material na construção do forno, tijolos e travamentos, menor consumo de combustível e maior facilidade na operação do forno em funcionamento.

Para conciliar os benefícios trazidos dos dois tipos de fornos, será proposto um esquema onde a fomalha não ocupa mais um espaço externo do forno e é locada em sua parte interna, formando um canal de combustão como se pode observar na figura 61.

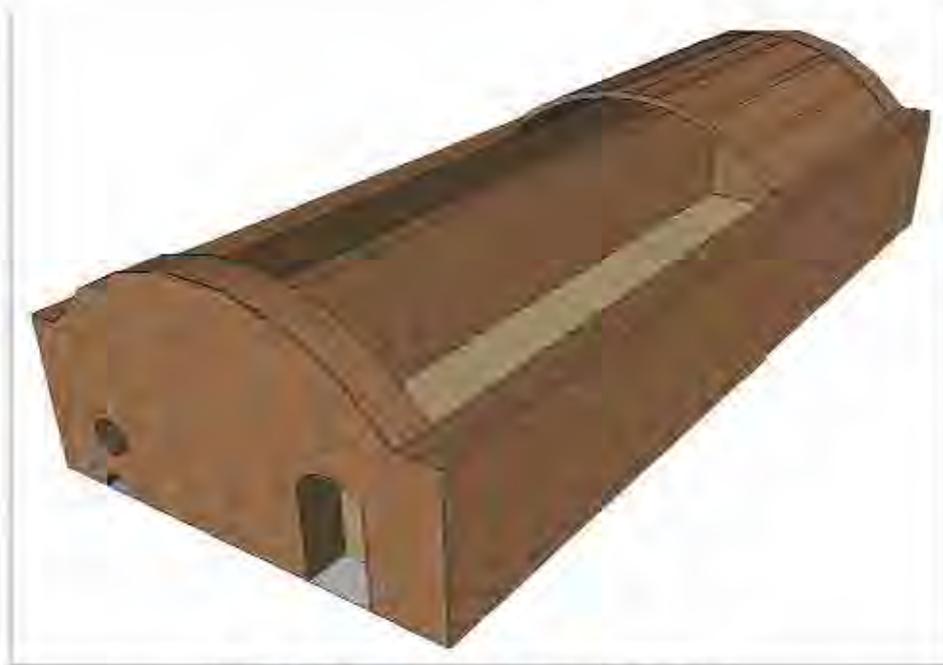


Figura 61: Novo posicionamento das fomalhas.
Fonte: Autor.

A proposta sugere que a fomalha ou câmara de combustão seja na parte interna do forno, formada por um canal comprido como mostra a figura 62, que está disposto ao longo do comprimento do forno, onde será durante o processo de queima depositada a lenha para combustão.

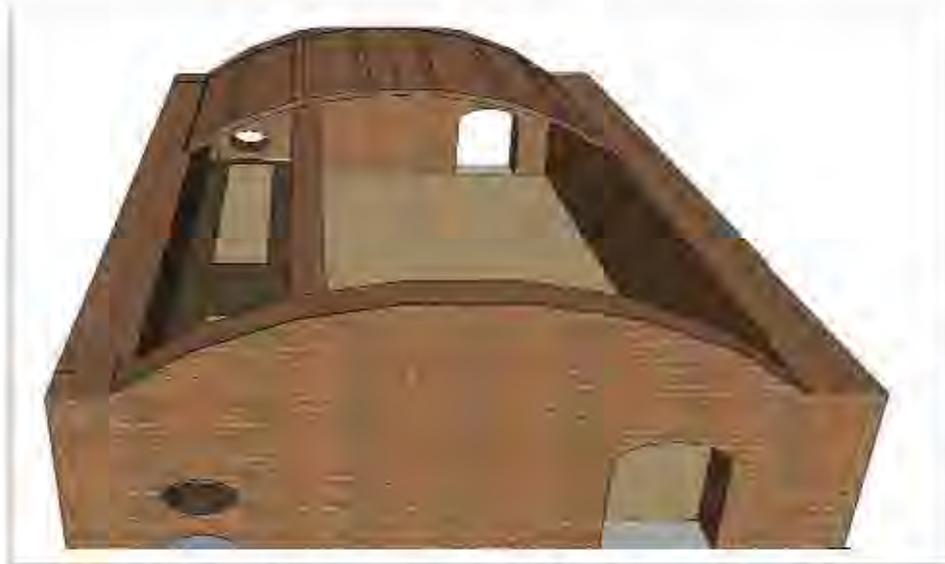


Figura 62: Câmara de combustão ao longo de todo comprimento do forno.

Fonte: Autor.

A lenha é colocada nos orifícios, *boquetas*, pelos dois lados do forno e a combustão ocorre no canal disposto ao longo do comprimento, a parede construída na parte interna do forno faz com que o calor ascenda e seja lançado contra o arco seguindo então o mesmo princípio de fluxo de calor do forno paulistinha.

Dessa maneira não é mais necessária a construção de um elemento de alvenaria na parte exterior do forno, acarretando as seguintes modificações e vantagens.

11.2.1. *Aproveitamento do espaço físico da empresa:*

Com a modificação das fomalhas é possível que se obtenha uma melhoria na disposição dos fornos dentro da empresa, podendo até para este caso construí-los um ao lado do outro, como se pode observar na figura 63. Esse princípio gera uma construção seqüencial dos fornos, o que remete a um aproveitamento considerável de espaço, tendo em vista que quando as fomalhas eram dispostas no lado externo do forno, ocupavam um espaço físico e ainda uma área para que o empregado pudesse abastecê-las com o combustível.

Para um forno paulistinha, com capacidade de carga de queima para 30.000 tijolos, por exemplo, onde as fomalhas são ao longo de seu maior comprimento, cada uma ocupa uma área em média de 2,6 m² mais uma área de aproximadamente 3 m² para que o empregado coloque o combustível em seu interior.

Essa situação gera uma área aproximada de utilização para cada uma das fomalhas de $5,6 \text{ m}^2$, fora do perímetro circundante do fomo.



Figura 63: Construção de fornos um ao lado do outro.

Fonte: Autor.

É importante citar que as fomalhas foram alteradas de posição, mas ainda ocupam uma área, agora no interior do fomo.

Pela equivalência da quantidade de lenha colocada nas fomalhas de um fomo paulistinha, a área do novo canal de combustão pode ser determinada considerando-se apenas a área interna de cada fomalha, com isso obtêm-se a área necessária para combustão no canal de queima.

Pelas condições das fomalhas dos já fornos existentes para essa dada capacidade de carga e suas áreas, e também pelas indicações empíricas, adota-se neste trabalho uma área interna de 5 m^2 para o canal de combustão no modelo proposto.

11.2.2. Dispensada a adoção de elementos de travamento nas fomalhas:

Já que não existem mais fomalhas na parte exterior dos fornos, os elementos de travamento nesses componentes não são mais necessários, partindo-se do princípio que o perímetro circundante do fomo agora, é só composto pelas paredes laterais. Dispensando os elementos de travamento das fomalhas, o custo inicial de aquisição do fomo é reduzido e as patologias apresentadas nesses elementos não são mais

encontradas, o que gera também redução nas perdas de calor e consequente economia de combustível durante os ciclos de queima.

11.2.3. Redução do número de componentes cerâmicos gastos na construção do forno:

Um forno paulistinha com capacidade para 30.000 tijolos, como mencionado em 9.6, consome em torno de noventa mil componentes cerâmicos para ser executado, sendo utilizado em cada fomalha cerca de três mil componentes.

Esse mesmo forno necessita de no mínimo quatro fomalhas em sua parede lateral, o que gera no total, um consumo médio de doze mil componentes cerâmicos.

A construção da parede interna e dos crivos, no modelo proposto não empregaria essa quantidade de componentes e sim algo em torno de seis mil peças.

11.2.4. Redução das perdas de calor para aquecimento das fomalhas:

A nova posição da fomalha além dos benefícios mencionados acarreta em uma economia de combustível, partindo-se do princípio que o calor necessário para aquecer a fomalha que ficava na parte externa do forno, agora está sendo aproveitado para o aquecimento interno do forno e consequentemente a carga de queima.

11.2.5. Facilidade de “queimar o forno” pelo empregado:

Um forno com duas boquetas para colocação da lenha, por mais que a quantidade de lenha por vez de abastecimento seja maior para equivaler a de um forno com mais fomalhas, gera um trabalho menor ao empregado que está conduzindo a queima, partindo-se do princípio que o volume maior de lenha colocado na câmara de combustão demora um tempo maior para queimar, aumentando o tempo de espera para o próximo abastecimento da fomalha.

11.2.6. Redução na manutenção do forno:

O emprego de fomalhas internas reduz o uso dos componentes cerâmicos e dispensa a adoção dos elementos de travamento para cada uma delas.

Essa situação propicia uma redução com os cuidados e com a manutenção do forno, já que as patologias relacionadas às fomalhas são, para este caso, relativamente eliminadas.

11.3. Largura máxima de um arco

A adoção da área interna do forno não depende exclusivamente da quantidade de tijolos a serem colocados por lote de queima.

Existe na prática uma restrição em relação à largura máxima que um arco de forno retangular pode assumir.

Essa restrição se baseia em patologias, como fissuração e até mesmo ruptura do arco, encontradas em fornos após o início dos ciclos de queima.

Em arcos construídos, onde sua largura era superior a quatro metros, observaram-se essas patologias comprometendo a estabilidade e levando o arco a ruptura.

Neste trabalho a adoção da largura interna máxima para o arco será de 3,75 m, respeitando as condições empíricas mencionadas.

A forma geométrica que mais se assemelha a de um arco convencional já construído é a parabólica, sua projeção segue na figura 64, com largura estipulada em 3,97m, com seu traçado no meio da espessura do tijolo do arco e com foco de 0,9m.

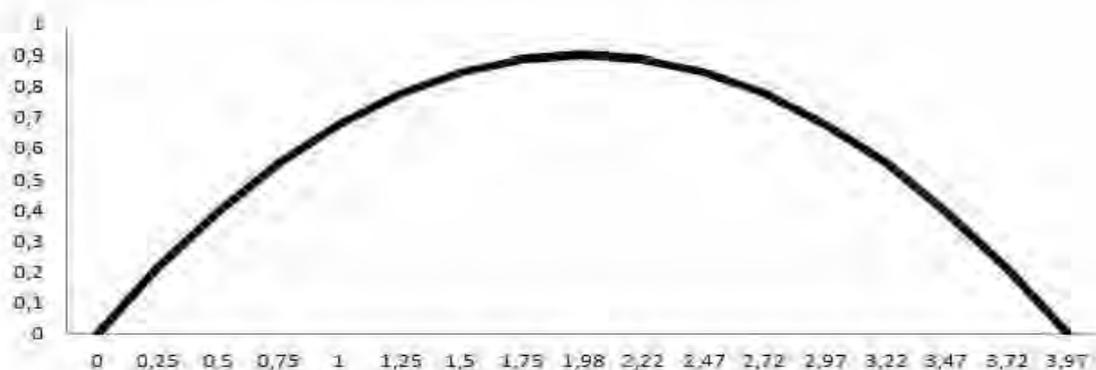


Figura 64: Traçado do arco do forno.

Fonte: Autor.

11.4. Espessura das paredes laterais do forno

A quantidade de tijolos para compor a espessura das paredes laterais do forno é determinada também de forma empírica.

Uma adoção muito coerente e utilizada por muitas empresas é a composição das paredes com três tijolos, o que cria uma espessura total de aproximadamente 0,68cm, três tijolos mais a massa de assentamento.

Para compor a parede no novo projeto de forno serão adotados três tijolos de espessura, obtendo-se uma parede rígida, espessa e sem alterar o padrão empregado na prática

11.5. Dimensionamento do novo forno

Com a largura interna máxima do arco, a área de carga de queima e a área necessária para as fomalhas, é possível determinar as dimensões finais do forno.

Sua área interna deve ter 25m², a área da câmara de combustão deve ter 5m² e a largura máxima interna entre as paredes não pode ser superior a 3,75m

No interior do forno, para esta nova concepção, existe uma parede composta por um tijolo de espessura (0,22cm) que ocupa uma área igual a sua largura multiplicada pelo comprimento interno total do forno.

A área interna total do forno é igual à largura interna de 3,75m multiplicada também pelo comprimento interno total.

Deste modo, tem-se que a soma das três áreas que ocupam o interior do forno devem ser iguais a área total interna.

Por essa análise, pode-se obter o comprimento interno do forno e com isso, todas outras dimensões desejadas.

O esquema da planta baixa do novo projeto segue na figura 65, com as dimensões de todos os componentes do forno.



Figura 65: Representação da planta baixa do novo modelo de forno. Fonte: Autor.

A altura do forno deve assumir no mínimo o valor estipulado para a altura da carga de queima, que para este caso é de dois metros e vinte centímetros, essa altura deve partir a base do arco.

Será adotada uma folga de dez centímetros para que a carga de tijolos não encoste no arco do forno durante o processo de queima.

A altura das boquetas, das portas e suas respectivas larguras serão adotadas equivalentemente aos fornos coconvencionais.

Abaixo segue o corte interno do forno, figura 66, onde pode-se observar as alturas adotadas.

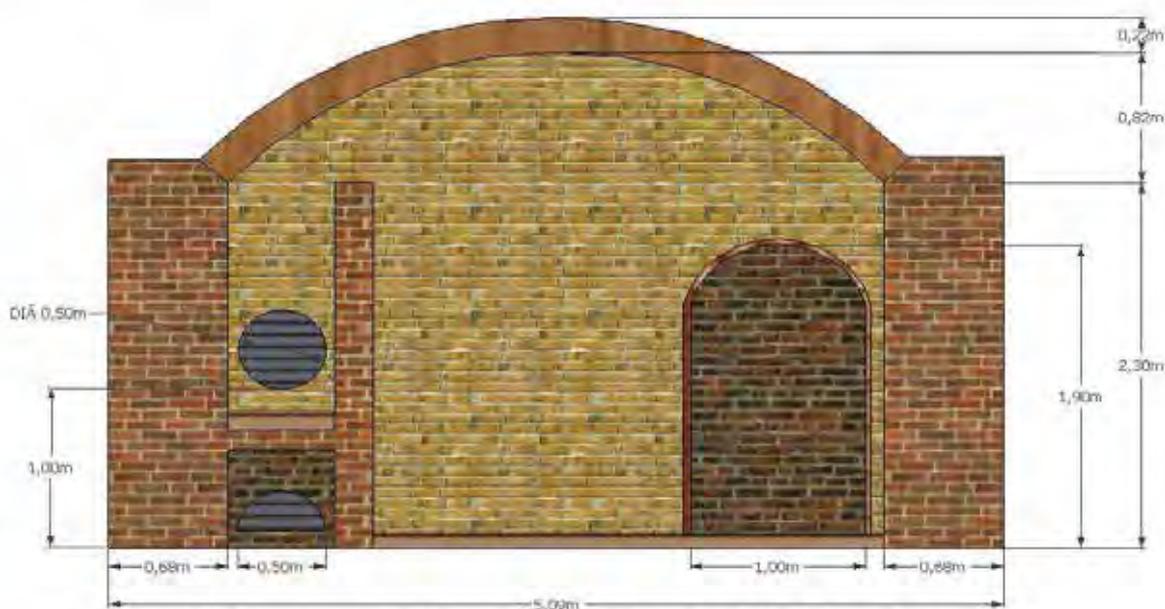


Figura 66: Representação do corte interno do novo modelo de forno. Fonte: Autor.

11.6. Adoções e considerações para os canais, bancas e chaminé:

Após a determinação do dimensionamento do tamanho interno e da fomalha interna do forno, algumas considerações e adoções são necessárias em relação aos canais bancas e chaminé.

11.6.1. Canais de retirada de ar:

Os canais de retirada de ar quente do novo modelo de forno devem ter as mesmas características dos canais de outros fornos já existentes.

Na liberação dos gases da queima para a chaminé e para o reaproveitamento de calor na estufa enquanto o forno esfria, são empregados os canais subterrâneos.

Para este novo projeto de forno será adotado um canal principal que percorre abaixo das bancas e possui duas extremidades, uma em cada lado do forno, como ilustra a figura 67.

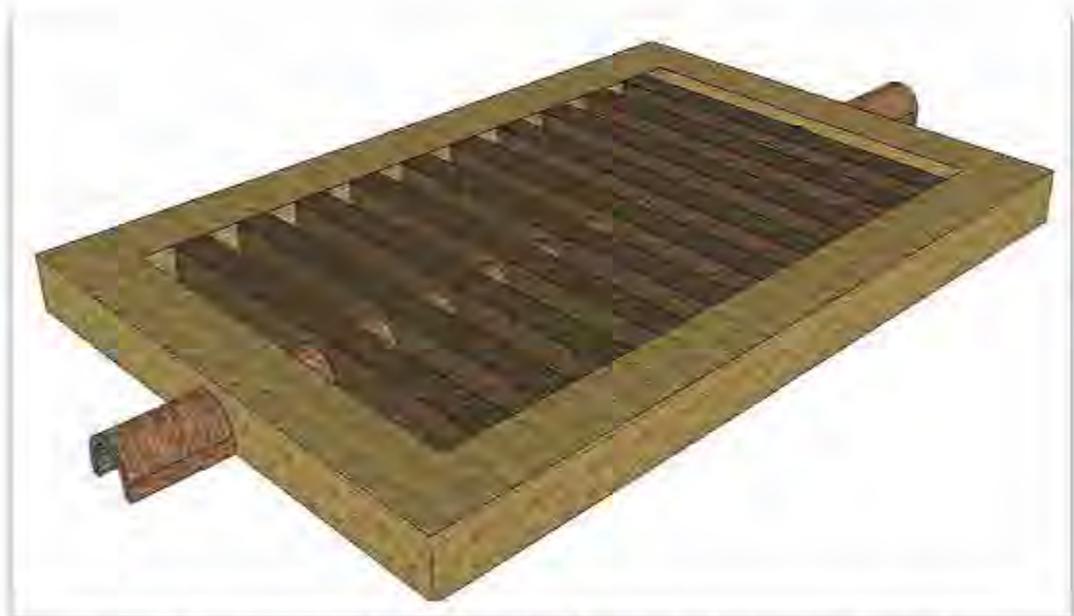


Figura 67: Representação do canal principal de retirada de ar quente. Fonte: Autor.

Nas duas extremidades do canal principal serão colocados registros metálicos para o controle do fluxo de ar quente.

Dessa maneira por uma das extremidades o ar caminha até a chaminé e pela outra o ar caminha até as estufas de secagem, sendo os registros fechados e abertos conforme a necessidade da saída de calor.

Os canais devem interligar o forno com a chaminé e com o exaustor para dispersar o ar até a estufa, essa interligação será adotada conforme a figura 68.

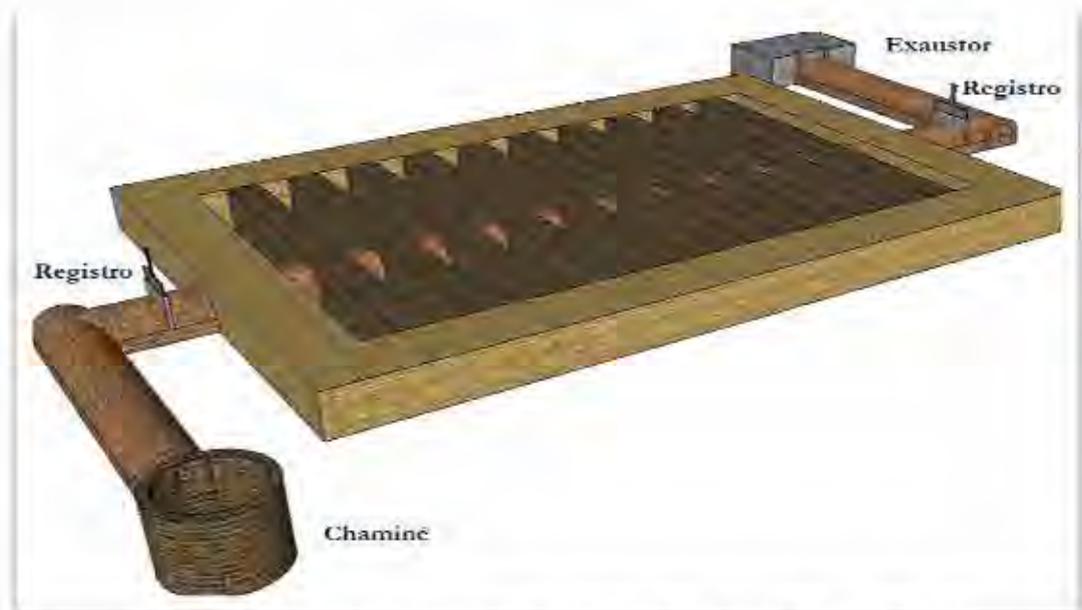


Figura 68: Ligação dos canais com a estufa e com a chaminé. Fonte: Autor.

Os canais são usualmente feitos com tijolos maciços, cunhas horizontais e massa de assentamento.

Para este trabalho, a adoção das dimensões da seção do canal são consideradas equivalentes aos modelos de fornos já existentes.

Seguindo o padrão, para todos os canais construídos como na figura 69.

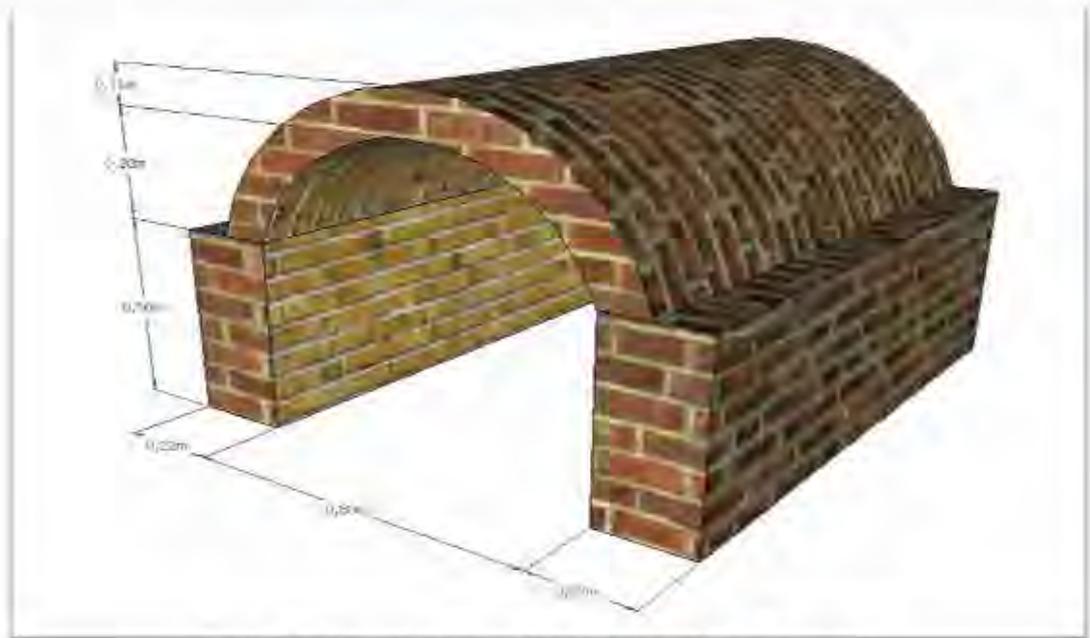


Figura 69: Dimensões adotadas para os canais de ar quente.

Fonte: Autor.

11.6.2. Bancas:

A largura da banca é preestabelecida, de acordo com a dimensão do tijolo civo empregado já que são encaixados sobre as bancas.

O número total de bancas é determinado dividindo-se o comprimento interno do forno pela espessura de cada uma mais o espaçamento entre elas.

A única adoção em relação às bancas, que deve remeter a prática é a altura de cada uma delas.

Para um *forno taty*, com mesma capacidade de carga, a altura empregada para as bancas é de oitenta centímetros, no caso do forno proposto neste trabalho adota-se esse mesmo valor para compor a altura das bancas.

11.6.3. Chaminé:

No novo modelo proposto por ser permitida a execução de um forno ao lado do outro, é possível utilizar apenas uma chaminé para vários fornos sequenciais.

É necessária apenas a interligação do canal principal do novo forno, com o canal de ligação para a chaminé do forno já construído.

Nestas circunstâncias a chaminé adotada deve suportar a retirada de fluxo de ar, de vários fornos seqüenciais.

Já que os fornos, se construídos seqüencialmente e com saída para a mesma chaminé, podem ter seus ciclos de queima em um mesmo período, a área de saída da chaminé não pode assumir a mesma do canal principal.

Dessa maneira a área adotada para a seção da chaminé deve ser o triplo da área do canal principal, levando-se em consideração três fornos trabalhando ao mesmo tempo.

Portanto a área interna da chaminé deve ser de $1,10\text{m}^2$, adoção que se verifica em muitas empresas cerâmicas.

12. Vantagens e resultados do novo projeto

Após analisados todos os componentes e a execução de cada um deles, pode-se avaliar quais as vantagens trazidas pelo modelo de forno proposto.

Para citação dessas vantagens as considerações abaixo serão divididas em três tópicos, as vantagens de economia de combustível, as vantagens de custo aquisitivo e as vantagens relativas a manutenção dos fornos.

12.1. Vantagens de economia de combustível:

As novas configurações do forno podem de certa forma, propiciar uma redução no consumo total de combustível por lote de queima.

Esse resultado se deve pela alteração da posição das fomalhas, o que gera duas situações de economia de combustível de interesse.

12.1.1. *Aquecimento da fomalha:*

Quando se inicia a queima de certa quantidade de peças cerâmicas, o forno é aceso e a lenha pode ser lançada dentro das câmaras de combustão.

O calor gerado aquece primeiramente as paredes da fomalha para posterior aquecimento da parte interna do forno.

Vicente de Paulo Nicolau (2008) cita que 43% da energia total consumida por um forno paulistinha de qualquer tamanho é destinada ao aquecimento das peças cerâmicas que o compõem.

Considerando-se a redução dos componentes cerâmicos na execução do forno, relacionados às modificações realizadas no modelo, têm-se uma diferença de 7.900 peças no total.

Isso representa que a modificação da posição das câmaras de combustão para a parte interna do forno, acarreta em uma economia de 4,47% em relação ao total de combustível gasto para queimar o lote de peças do forno.

Em um forno paulistinha, por exemplo, o consumo médio de lenha utilizada para queima de um milheiro de tijolos é de $0,98\text{m}^3$. Dessa maneira o consumo total de lenha em um forno deste tipo com capacidade para 31.000 tijolos é de $30,4\text{m}^3$.

Considerando-se essas informações e que o preço do metro cúbico de lenha de eucalipto é em torno de R\$ 65,00 é possível determinar qual é a economia, de lenha, para queima de um milheiro de tijolos nesse novo modelo de forno.

Para as considerações relativas a custo, baseia-se que a cotação do dólar no dia 25/11/2011 é de R\$ 1,5897.

Para essas situações a economia por milheiro de peças queimadas, e a conseqüente redução no custo final do produto é de R\$ 2,85 para cada milheiro de peças produzidas.

Esse valor é considerável, pois as empresas possuem grande produção de peças por mês tornando-o, ao final do mês de produção, relevante.

12.1.2. *Perdas de calor pelas fissuras:*

Além da perda para aquecimento da fomalha, quando localizada na parte externa do forno, existe uma perda de calor pelas fissuras formadas em seu corpo.

Após vários ciclos de queima, as fomalhas começam a apresentar patologias que geram a fissuração de suas paredes.

Por essas fissuras ocorrem perdas de calor, pois conforme o combustível é queimado o calor entra pelas fissuras e sai do forno.

Essa perda não pode ser quantificada, pois depende de diversos fatores como o número de ciclos de queima do forno, a qualidade dos elementos de travamento das fomalhas, a manutenção dada a essas fissuras e a espessura das paredes das fomalhas. Mesmo não tendo um número representativo para esta perda é possível verificar sua ausência no modelo proposto, partindo do princípio que as fomalhas, câmaras de combustão, estão posicionadas na parte interna do forno.

12.2. Vantagens de custo aquisitivo:

Em relação ao custo de aquisição do forno proposto, será realizada uma análise comparativa entre o custo do projeto proposto e o custo de um forno similar, com a mesma capacidade de produção por lote de queima.

O forno adotado como comparativo é o *forno paulistinha*, seu custo foi calculado baseando-se em valores cobrados por construtores da região do interior paulista.

Todos os materiais e serviços foram listados e posteriormente uma pesquisa de preços foi realizada, para que se possa compor o custo total.

A tabela 3 abaixo fornece a listagem e o custo de cada etapa e componente do fomo:

Etapa	Serviço	Quant. Total	Custo Uni. (R\$)	Total (R\$)
Escavação	Fomo	8 hrs	60,00	480,00
	Canais e chaminé	2 hrs	60,00	120,00
Canais de ar	Tijolos maciços	20 m	20,25	405,00
	Cunhas hor.	20 m	30,24	604,80
	Massa de assent.	20 m	0,63	12,50
	Registros	2 reg.	200,00	400,00
Bancas e crivos	Tijolos maciços	9000 tij.	0,27	2430,00
	Crivos	420 tij.	0,76	320,00
	Massa de assent.	1,34 m ³	31,25	41,90
Viga baldrame	Concreto	1,8 m ³	230,00	414,00
	Barras	14 barr.	31,40	439,60
	Estribos	70 est.	0,35	24,50
Paredes laterais e internas	Tijolos maciços	44100 tij.	0,27	11900,00
	Massa de assent.	7,2 m ³	31,25	225,00
Fornalhas	Tijolos maciços	12000 tij.	0,27	3240,00
	Crivos	160 tij.	0,76	122,00
	Massa de assent.	1,9	31,25	60,00
Travamentos das fornalhas	Ferragens	4 trav.	350,00	1400,00
Pilares de ligação	Concreto	1,2 m ³	230,00	276,00
	Barras	6 barr.	31,40	188,40
	Estribos	60 est.	0,32	19,20
Cinta de concreto	Concreto	1,3 m ³	230,00	299,00
	Barras	10 barr.	31,40	314,00
	Estribos	70 est.	0,32	22,40
Arco	Tijolos maciços	5500 tij.	0,27	1485,00
	Massa de assent.	0,9 m ³	31,25	28,20
	Molde	-	176,00	176
Travamento metálico	Viga I	1232 Kg	3,20	3942,4
	Tirantes	12 barras	24,65	295,8
	Parafusos e porcas	-	150,00	150
Chaminé	Tijolos cunha	2000 tij.	0,56	1120
	Massa de assent.	-	300,00	300
	Base	-	520,00	520
	Tampa metálica	1 tampa	1500,00	1500
Mão de obra	Todos serviços	-	29700,00	25700
			Total	58370,90

Tabela 3: Custo parcial e total do fomo paulistinha. Fonte: Autor

A tabela 4 abaixo fornece a listagem e o custo de cada etapa e componente do forno proposto:

Etapa	Serviço	Quant. Total	Custo Uni. (R\$)	Total (R\$)
Escavação	Forno	8 hrs	60,00	480,00
	Canais e chaminé	2 hrs	60,00	120,00
Canais de ar	Tijolos maciços	20 m	20,25	405,00
	Cunhas hor.	20 m	30,24	604,80
	Massa de assent.	20 m	0,63	12,50
	Registros	2 reg.	200,00	400,00
	Tijolos maciços	9000 tij.	0,27	2430,00
Bancas e crivos	Crivos	420 tij.	0,76	320,00
	Massa de assent.	1,34 m ³	31,25	41,90
	Concreto	1,8 m ³	230,00	414,00
Viga baldrame	Barras	14 barr.	31,40	439,60
	Estribos	70 est.	0,35	24,50
	Tijolos maciços	44100 tij.	0,27	11900,00
Paredes laterais e internas	Massa de assent.	7,2 m ³	31,25	225,00
	Tijolos maciços	4200 tij.	0,27	1134,00
Câmara de combustão	Crivos	125 tij.	0,76	95,00
	Massa assent.	0,63	31,25	19,80
	Concreto	1,2 m ³	230,00	276,00
Pilares de ligação	Barras	6 barr.	31,40	188,40
	Estribos	60 est.	0,32	19,20
	Concreto	1,3 m ³	230,00	299,00
Cinta de concreto	Barras	10 barr.	31,40	314,00
	Estribos	70 est.	0,32	22,40
	Viga I	1232 Kg	3,20	3942,40
Travamento metálico	Tirante	12 barr.	24,65	295,80
	Parafusos e porcas	-	150,00	150,00
	Tijolos maciços	5500 tij.	0,27	1485,00
Arco	Massa de assent.	0,9 m ³	31,25	28,20
	Molde	-	176,00	176,00
	Tijolos cunha	2000 tij.	0,56	1120,00
Chaminé	Massa de assent.	-	300,00	300,00
	Base	-	520,00	520,00
	Tampa metálica	1 tampa	1500,00	1500,00
	Mão de obra	Todos serviços	-	20100,00
			Total	49197,80

Tabela 4: Custo parcial e total do novo modelo de forno. Fonte: Autor

Pela análise das tabelas apresentadas é possível estimar qual a diferença de custo aquisitivo para os dois modelos de forno comparados.

O modelo proposto gera uma economia em relação ao custo total aquisitivo se comparado com um forno convencional de 19%.

Esse valor é representativo, pois uma empresa, por exemplo, que adote o novo modelo proposto gastaria R\$ 9173,10 a menos caso não optasse pelo modelo tipo *paulistinha*.

12.3. Vantagens relativas à manutenção:

As modificações realizadas nos modelos de fornos já existentes ocasionam certa redução na manutenção necessária para o bom funcionamento de cada forno.

A alteração na posição das fomalhas, a adoção de uma espessura de parede recomendável e a largura máxima do arco adotada dentro das considerações empíricas, geram uma redução considerável nas manutenções que os fornos necessitam.

Por uma análise anterior à execução e o funcionamento do modelo de forno proposto, quantitativamente, o valor de economia relativo a essa redução na manutenção não pode ser determinado, dessa maneira, pode-se apenas mencionar essa redução sem quantificá-la.

13. Análise comparativa

Através dos valores apresentados nos resultados obtidos, duas análises comparativas podem ser realizadas de forma a relacionar a economia de combustível e a redução de custo aquisitivo que o novo modelo proposto proporciona.

Como base para a primeira análise, será suposto uma cerâmica com seis fornos do modelo proposto.

Se essa empresa realizar a queima de um forno por semana, totalizando vinte e quatro queimas no mês e cada lote de queima com capacidade para 31.000 tijolos, a diferença de gastos que existe entre um forno convencional e o forno proposto geraria em vinte e três meses de utilização o capital necessário para aquisição de mais um forno do novo modelo, ou seja, apenas a economia de combustível gerada pela nova proposta em relação ao consumo dos fornos usuais já é muito significativa para uma empresa de médio a grande porte.

Outra análise de interesse é para uma empresa que está se instalando ou deseja substituir o tipo de forno já utilizado.

Para uma produção mensal de 750.000 peças, uma cerâmica deve ter seis fornos com produção de 31.000 peças por lote de queima.

Para a aquisição ou substituição dos seis fornos, essa empresa gastaria para o caso da adoção do *forno paulistinha* R\$ 350.225,40, e caso o modelo proposto fosse empregado o valor total despendido pela empresa seria R\$ 295.186,80.

Pode-se notar que essa situação acarreta em uma vantagem considerável para o modelo proposto.

Com o valor que a empresa gastaria para comprar seis fornos tipos *paulistinha* ela poderia comprar sete fornos no modelo proposto, caso esse fosse escolhido.

Aumentando, assim, sua produção para 840.000 mil peças por mês com o mesmo gasto de aquisição total, ou seja, 17% a mais em relação a análise anterior.

14. Referências Bibliográficas

Araujo, Rodrigues & Freitas (2010) – Produtos cerâmicos <http://www.ufrj.br/institutos/it/dau/profs/edmun.do/Materiais%20cer%20nicos.pdf>

Bosi, L.C. (2006) - Etapas do Processo Cerâmico e sua Influência no Produto Final – Massa, Extrusão, Secagem e Queima. Dossiê técnico SENAI – RS. <http://sbrtibi.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NDI=>

FHNORTON, 1986 – Introdução à Tecnologia Cerâmica

Gil G. P. (2000) – perfil da indústria cerâmica.

http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/relatorios_concluidos/09_relatorios_concluidos.PDF

Souza, N. F. (2008)- PATOLOGIAS OCASIONADAS PELA UMIDADE NAS EDIFICAÇÃO. <http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Patologias%20Ocasionadas%20Pela%20Umidade%20Nas.pdf>

Xavier, D., Gerges, S. N. (2007) - Influência de propriedades físico-mecânicas para a determinação da frequência de coincidência no isolamento sonoro de paredes de alvenaria. <http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/3747/2100>

Endereços eletrônicos:

http://www.aricer.com.br/index.asp?pg=institucional_direita.asp&secao=10&id=82&revista=2WA004509087EWRTXLZ873BDG28

<http://www.netceramics.com/Informa%C3%A7%C3%B5esT%C3%A9nicas/Processo de Fabrica%C3%A7%C3%A3o/tabid/394/language/pt-BR/Default.aspx>

<http://rodrigominatto.files.wordpress.com/2010/01/fornos-industriais.pdf>

http://www.bib.unesc.rci-sc.br/search_htdig/htsearch?matenal=&biblioteca=&sort=title&format=long&method=and&swords=M%C1S%C2%EDGARD&config=htdig&restrict=&exclude=M%C1S%C2%EDGARD

<http://www.aricer.com.br/index.asp?pg=institucional.asp&secao=3&categoria=60&selMenu=3>