



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CAMPUS MUTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
CURSO CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS BLOCOS CERÂMICOS E SUA
INFLUÊNCIA NO CONTROLE DE QUALIDADE PÓS QUEIMA: ESTUDO DE
CASO DA OLARIA DE SÃO FRANCISCO DO OESTE/RN**

FRANCISCO TÚLIO CEZAR GONÇALVES BEZERRA

PAU DOS FERROS,

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CAMPUS MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
CURSO CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS BLOCOS CERÂMICOS E SUA
INFLUÊNCIA NO CONTROLE DE QUALIDADE PÓS QUEIMA: ESTUDO DE
CASO DA OLARIA DE SÃO FRANCISCO DO OESTE/RN**

FRANCISCO TÚLIO CEZAR GONÇALVES BEZERRA

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Rogerio Cruz De Sousa

Co-orientador: Prof. Dr. José Flávio Timoteo Júnior

PAU DOS FERROS

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B574c Bezerra, Francisco Túlio Cezar Gonçalves .
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS BLOCOS
CERÂMICOS E SUA INFLUÊNCIA NO CONTROLE DE
QUALIDADE PÓS QUEIMA: ESTUDO DE CASO DA OLARIA DE
SÃO FRANCISCO DO OESTE/RN / Francisco Túlio Cezar
Gonçalves Bezerra. - 2017.
77 f. : il.

Orientador: Cláwsio Rogerio Cruz de Sousa.
Coorientador: José Flávio Timoteo Júnior.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2017.

1. Cerâmica vermelha. 2. Conformidade. 3. Pós
queima. I. Sousa, Cláwsio Rogerio Cruz de ,
orient. II. Júnior, José Flávio Timoteo , co-
orient. III. Título.

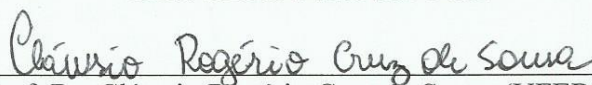
O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS BLOCOS CERÂMICOS E SUA
INFLUÊNCIA NO CONTROLE DE QUALIDADE PÓS QUEIMA: ESTUDO DE
CASO DA OLARIA DE SÃO FRANCISCO DO OESTE/RN**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

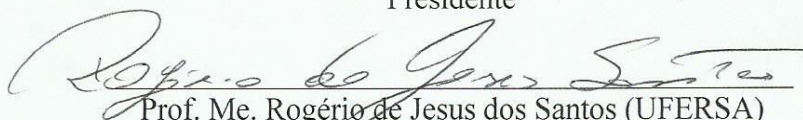
Defendida em 18 / 05 / 2014.

BANCA EXAMINADORA



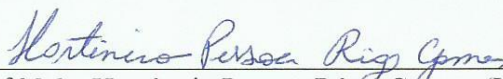
Prof. Dr. Cláudio Rogério Cruz de Sousa (UFERSA)

Presidente



Prof. Me. Rogério de Jesus dos Santos (UFERSA)

Membro Examinador



Prof.ª Me. Hortência Pessoa Rêgo Gomes (UFERSA)

Membro Examinador

Dedico este trabalho,

Aos meus pais Francisco Altanir
Bezerra e Marta Gonçalves
Rodrigues

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me sustentar e me dar forças todos os dias. Por seu grande amor para comigo manifestada em sua graça salvadora, e por suas misericórdias se renovarem dia após dia. Por todas as provisões e direções em cada área da minha vida.

Aos meus pais, Francisco Altanir Bezerra e Marta Gonçalves Bezerra, pelo amor de vocês por mim, manifestada de várias maneiras. Por terem me ensinado o caminho no qual devo trilhar a vida. Por sempre terem me incentivado ao longo desses anos, em especial nos meus estudos. Obrigado pelo apoio, cuidado, e conselhos que me deram até aqui, a fim de que eu cresça em caráter assim como vocês o são.

Aos meus irmãos, Talyta Rúbia Bezerra Bravo e Francisco Tibério Cezar Gonçalves Bezerra. Aos meus primos, primas, tias, tios, sobrinhos. À minha namorada, Yandra Meneses Brito de Castro pelos conselhos, apoio, e por estar junto na batalha, compartilhando cada momento ao meu lado; e à toda a sua família.

Ao meu orientador Cláwsio Rogerio Cruz de Sousa, grande amigo, por ter aceitado me orientar. Pelos materiais disponibilizados, por todos os ensinamentos ao longo desse tempo, pelas contribuições e críticas. Pelos conselhos ao longo desse tempo que me fazem crescer. Ao meu coorientador, José Flávio Timóteo Júnior pelo auxílio que vai muito além desse trabalho, é um prazer ser seu orientando e ser coordenado por você. Por ser esse profissional de excelência que és.

Aos professores da UFERSA, em especial à Rogério de Jesus Santos, pela ajuda na produção desse trabalho, pelos materiais disponibilizado e pelo auxílio ao longo do tempo de produção. Jennef Carlos Tavares , pelas ideias e contribuições ao longo do trabalho.

Aos meus amigos, Emilyanno Saraiva Limeira e Francisco Arnaldo de Lima Torres Junior pelo tempo que moramos juntos, foi muito proveitoso. À Cícero Renato Lima, Alice Costa de Almeida, e Aparecida Evangelista Cartaxo, pelos trabalhos e estudos realizados juntos, pelos conselhos, e pelo apoio ao longo dessa caminhada. À Willian Vieira Gomes, pelo auxílio, e pela significativa contribuição ao longo desse trabalho.

RESUMO

O bloco cerâmico é um dos principais produtos da cerâmica vermelha mais utilizados nas diversas áreas da construção civil. A qualidade de sua estrutura está ligada à parâmetros químicos, físicos, mecânicos e térmicos. Este trabalho tem por objetivo analisar o controle de qualidade pós queima dos blocos cerâmicos da cerâmica localizada na cidade de São Francisco do Oeste/RN. Para isso, inicialmente, foi realizada uma inspeção *in loco*, a fim de verificar o processo produtivo, mais precisamente durante e após a etapa de queima, bem como diagnosticar os maiores prejuízos causados à estrutura dos tijolos. Em segunda etapa, foi realizada várias análises físicas, mecânicas e geométricas a fim de verificar a conformidade dos blocos cerâmicos exigidos pela norma ABNT NBR 15270, com o intuito de verificar a conformidade ou não das amostras em estudo. As análises tecnológicas realizadas nas amostras foram: retração linear, absorção de água, densidade e resistência a compressão. Apesar de não haver controle ao longo do processo de queima, os resultados mostraram que de todas as análises realizadas e comparadas com a conformidade da norma, somente o comprimento (C) não foi atendido aos requisitos exigidos. Em uma terceira etapa, foi realizada a caracterização química da estrutura dos blocos através da fluorescência de raio X – FRX, a fim de obter os teores dos elementos constituintes da matéria prima, e determinar por meio da análise de difração de raio X – DRX as composições mineralógicas da argila. Essa caracterização foi importante para determinar os elementos químicos que influenciam nos defeitos dos blocos. Os resultados dessa caracterização estrutural também mostraram que o alumínio se destacou na composição mineralógica, sendo presente em quase todas as fases cristalinas detectadas. Isso é importante para entender o comportamento estrutural dos blocos ao longo da linha de produção.

Palavra Chave: Cerâmica vermelha. Conformidade. Pós queima.

ABSTRACT

The ceramic block is one of the main products of the red ceramic most used in the various areas of civil engineering construction. The quality of its structure is linked to chemical, physical, mechanical and thermal parameters. This work aims to analyze the quality control after the burning process on the ceramic blocks of a factory located in the city of São Francisco do Oeste in the state of Rio Grande do Norte/Brazil. In order to do that, initially, an on-site inspection was performed to verify the production process, more precisely during and after the burning stage, as well as to diagnose the greatest damages caused to the brick structure. In the second phase, several physical, mechanical and geometric analyzes were carried out with the intention of verifying the conformity of the ceramic blocks required by the ABNT NBR 15270 standard, with the purpose of confirming the conformity or not of the samples under study. The technological examines performed on the samples were: linear retraction, water absorption, density and compressive strength. Although there was no control throughout the burning process, the results showed that after all the analyzes performed and comparing to the conformity of the standard, only the length (C) did not met the requirements. In a third period, the chemical characterization of the block structure was carried out by X-ray fluorescence - FRX, with the aim of obtaining the contents of the constituent elements in the raw material, and it was determined by X-ray diffraction analysis - XRD mineralogical compositions of clay. This characterization was important to determine the chemical elements that influence the defects of the blocks. The results of this structural characterization also showed that aluminum excelled in the mineralogical composition, being present in almost all the crystalline phases perceived. This is vital to understand the structural behavior of the blocks along the production line.

Keyword: Red ceramics, conformity, post burning.

“Se o escultor despreza a argila,
terá de modelar o vento. Se o teu
amor despreza os sinais do amor a
pretexto de atingir a essência, o teu
amor não passa de palavreado”

— Antoine de Saint-Exupéry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Materiais cerâmica vermelha _____	6
Figura 2: Estrutura dos argilominerais _____	10
Figura 3: Bloco cerâmico de vedação com furos verticais e horizontais _____	11
Figura 4: Fluxograma Processo Produtivo dos Blocos Cerâmicos _____	12
Figura 5: Extração da argila _____	13
Figura 6: Estocagem da matéria prima _____	14
Figura 7: Preparo da massa _____	15
Figura 8: Laminador _____	16
Figura 9: Boquilha _____	17
Figura 10: Corte dos blocos _____	17
Figura 11: Secagem natural dos blocos cerâmicos _____	18
Figura 12: (a) Forno utilizados para a queima de blocos cerâmicos (b) Tijolos prontos para serem queimados _____	20
Figura 13: Estocagem do produto final _____	21
Figura 14: Propriedades tecnológicas da queima com lenha e com gás natural _____	28
Figura 15: Metodologia da Pesquisa _____	29
Figura 16: Microrregião de Pau dos Ferros _____	30
Figura 17: Foto Aérea da Zona Urbana _____	31
Figura 18: Paquímetro _____	33
Figura 19: Ensaio medições geométricas _____	33
Figura 20: Foto do bloco na balança _____	34
Figura 21: Estufa _____	35
Figura 22: Massa úmida para absorção de água _____	35
Figura 23: Prensa para medir a resistência à compressão _____	37
Figura 24: Pós queima _____	40
Figura 25: Depósito de tijolos danificados _____	41
Figura 26: Blocos danificados após a queima _____	41
Figura 27: Inspeção visual na amostra _____	42
Figura 28: (a) Dispersão das dimensões lineares da largura (L), (b) Dispersão das dimensões lineares da altura (H), (c) Dispersão das dimensões lineares do comprimento (C) _____	44
Figura 31: Gráfico Absorção de Água _____	48
Figura 32: Resistência à Compressão _____	48

Figura 33: Composições químicas obtidas pelo pela análise de FRX_____ 52

Figura 34: Difração de Raio X da matéria prima _____ 53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades dos principais elementos constituintes das argilas.....	7
Tabela 2: Classificação das principais técnicas termoanalíticas.....	23
Tabela 3: Vantagens e desvantagens dos fornos intermitentes	26
Tabela 4: Vantagens e desvantagens fornos contínuos	27
Tabela 5: Características exigidas para blocos de vedação	32
Tabela 6: Medidas das faces.....	43
Tabela 7: Área Bruta dos blocos em estudo	45
Tabela 8: Septos e paredes externas	45
Tabela 9: Densidade específica dos blocos	46
Tabela 10: Absorção de água	47
Tabela 11: Resistência à Compressão	48
Tabela 12: Dimensões lineares dos blocos antes da queima	49
Tabela 13: Valores de Retração Linear	50
Tabela 14: Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX).....	51

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Absorção de Água	34
Equação 2: Retração Linear	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC – Associação Brasileira de Cerâmica

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANFACER – Associação Nacional Dos Fabricantes de Cerâmica Para Revestidores, Louças Sanitárias e Congêneres

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica

DRX – difração de raios X

FIEMG – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais

FRX – Fluorescência de raios X

GLP – Gás liquefeito de petróleo

GN – Gás natural

NBR – Norma brasileira regulamentadora

PBQP-H – Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat

PSQ – Programa Setorial de Qualidade

RN – Rio Grande do Norte

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO	3
1.1.1 Geral	3
1.1.2. Específico	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 HISTORIA DOS MATERIAIS CERÂMICOS	4
2.2 INDUSTRIA CERÂMICA VERMELHA	4
2.2.1 Industria ceramica no Rio Grande do Norte	6
2.3 PROPRIEDADE DAS ARGILAS	7
2.3.1 Estrutura dos argilominerais	9
2.4 BLOCOS CERÂMICOS	10
2.5 PROCESSOS PRODUTIVO DOS BLOCOS CERÂMICOS	12
2.5.1 Extração da Argila	12
2.5.2 Recebimento da matéria-prima e estocagem	13
2.5.3 Preparo da massa cerâmica	14
2.5.4 Laminação	15
2.5.6 Extrusão e corte	16
2.5.7 Secagem	17
2.5.8 Queima	19
2.5.9 Inspeção	20
2.5.10 Estocagem do produto final	21
2.5.11 Expedição	21
2.6 PROPRIEDADES DA QUEIMA DOS BLOCOS CERÂMICOS	22
2.6.1 Defeitos a Partir da Queima	22
2.6.2 Análises térmicas	22
2.6.3 Temperatura e Curva de Queima dos Blocos Cerâmicos	23
2.7 TIPOS DE FORNOS	25
2.7.1 Fornos Intermitentes	25
2.7.2 Fornos Contínuos	26
2.7.3 Vantagens e Desvantagens dos Tipos de Fornos	26
2.7.4 Combustíveis dos fornos	28
3. METODOLOGIA	29

3.1 ESPECIFICAÇÕES DO LOCAL DE ESTUDO	30
3.2 VISITAS “ <i>IN LOCO</i> ”	31
3.3 ENSAIOS FÍSICOS E GEOMÉTRICOS NOS BLOCOS CERÂMICOS	31
3.3.1 Parâmetros dos Blocos a serem comparados	32
3.3.2 Análises geométricas e Inspeção visual	32
3.3.3 Densidade	34
3.3.4 Absorção de água e massa úmida	34
3.3.5 Compressão	36
3.3.6 Retração linear de queima	37
3.4 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA	38
3.4.1 Fluorescência de raios-X (FRX)	38
3.4.2 Difração de Raio X- DRX	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 QUESTIONÁRIO	40
4.2 INSPEÇÃO VISUAL	42
4.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, MECÂNICA, QUÍMICA E MINERALÓGICA	43
4.3.1 Medidas das faces	43
4.3.2 Área Bruta	45
4.3.3 Espessuras dos Septos e Paredes Externas	45
4.3.4 Densidade	46
4.3.5 Absorção de Água	47
4.3.6 Resistência à Compressão	48
4.3.7 Retração linear de queima	49
4.3.8 Fluorescência Raios X- FRX	50
4.3.9 Difractometria de Raios X - DRX	52
5 CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS	57
APÊNDICE - QUESTIONÁRIO NA EMPRESA	60
ANEXO – DIMENSÕES DE FABRICAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS	61

1 INTRODUÇÃO

A argila é um recurso natural não renovável que pode ser extraída em grande escala no Brasil, e possui diversas utilidades e finalidades no setor da construção civil. Esse material assume propriedade de plasticidade expressiva quando adicionado com água, que lhe proporciona melhor trabalhabilidade tornando possível à forma desejada do produto, que após a queima, tem-se a formação da cerâmica vermelha. (ANFACER, 2017).

A argila é a principal matéria prima dos materiais da indústria de cerâmica vermelha. De acordo com o SEBRAE (2015), esse setor é composto por 9.071 empresas, que geram faturamento de R\$ 18 bilhões por ano ao Brasil. O segmento representa 4,8% da indústria da Construção Civil e gera mais de 300 mil postos de trabalho diretos e 1,5 milhão indiretos. Mensalmente, somente as fábricas de blocos produzem mais de 4 bilhões de unidades, o que representa 63% de todo o mercado.

O avanço da indústria ceramista está diretamente ligado ao desenvolvimento do setor da construção civil que, por conseguinte, é influenciado pela economia do país. O setor cerâmico contribui significativamente para o crescimento econômico da região em que a cerâmica está inserida. Dentre as regiões que mais têm se desenvolvido nesse setor, o Nordeste vem ganhando destaque, pois tem aumentado a demanda de materiais cerâmicos, o que tem levado a implantação de novas fabricas cerâmicas na Região (ABC, 2017).

A presença das micro e pequenas cerâmicas ou olarias tem ganhado ainda mais notoriedade pela diversidade e facilidade da exploração de jazidas próximas a essas zonas industriais. Esse crescimento se dá também devido a abundância de matérias-primas naturais, e também pelas fontes alternativas de energia, além da acelerada tecnologia de equipamentos industriais (SILVA, 2014).

As indústrias de cerâmica vermelha fazem parte do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), uma ação do Governo e da iniciativa privada em prol da conformidade técnica, e gerencial da cadeia da construção civil (ANICER, 2014). O Programa Setorial de Qualidade blocos cerâmicos (PSQ-BC) das cerâmicas vermelhas, uma extensão do PBQP-H, visa também o aprimoramento e a qualidade dos blocos cerâmicos, e coloca a sociedade civil como a principal beneficiária, já que busca valorizar as empresas que estão seguindo esse título, sendo que são padronizadas e regidas para a adequação às normas técnicas. (SENAI, 2016)

Desse modo, as indústrias cerâmicas que não possuem controle de qualidade ao longo da produção, enfrentam diversos problemas na conformidade dos blocos cerâmicos, sendo

detectado vários prejuízos ao longo da produção. A etapa de queima do tijolo é de grande valor na produção da cerâmica vermelha, pois pode interferir de modo significativo na qualidade do produto final.

De acordo com ACCHAR (2006), a cerâmica vermelha está inserida na classe das cerâmicas tradicionais mais antigas do setor cerâmico. Contudo, ainda apresenta uma grande carência com relação ao estudo de matérias-primas e ao desenvolvimento de pesquisas no tocante à qualidade.

Ao analisar os materiais cerâmicos, percebe-se que há uma preocupação pelo controle de qualidade, pois pode-se prevenir diversos prejuízos, no processo de fabricação do tijolo, principalmente durante o processo de queima do material, que acarreta mais prejuízos. A queima do material passa por processos de transformação que vão desde perdas de matéria-prima em sua estrutura, variação na resistência mecânica, e até mesmo a questão da estética. (GALDINO,2010)

Durante o processo de fabricação, é comum verificar alguns defeitos, como trincas, porosidade no material cerâmico, intensificadas pela queima do composto e a volatilização dos elementos que constituem a matéria argilosa, que forma a cerâmica vermelha (ANDRADE,2009). Assim, com processo de expansão e contração do tijolo que a queima permite, os materiais sofrem diferenças quanto ao peso final do produto e também nas deformações expressivas (BATISTA et. al., 2008). Isso é ainda mais intensificado quando não há um controle de qualidade adequado a fim de reverter essas questões que podem interferir mais diversas aplicabilidades que esse pode ser encontrado.

Para o estudo da queima dos blocos cerâmicos, faz-se necessário analisar a microestrutura pois, a partir de uma caracterização, permite-se o entendimento das relações internas da estrutura que favorecem os defeitos nos tijolos. Com a caracterização química, física, mecânica, é possível observar os defeitos ao longo da produção, e os parâmetros adequados de queima nos quais os blocos devem ser submetidos. Além disso, faz-se necessário determinar a composição química, para verificar as influências desta nos defeitos dos blocos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

- Estudar o comportamento e o controle de qualidade dos blocos cerâmicos na indústria de São Francisco do Oeste – RN;

1.1.2. Específico

- Inspeccionar “In loco” a linha de produção dos blocos cerâmicos da indústria cerâmica;
- Analisar as conformidades dos blocos cerâmicos de acordo com a norma ABNT NBR 15270;
- Caracterizar quimicamente, estruturalmente, fisicamente e mecanicamente os blocos cerâmicos;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTORIA DOS MATERIAIS CERÂMICOS

De acordo com Verçosa e Dias (2013, p. 526), “a cerâmica é considerada um dos materiais mais antigos produzidos pelo homem, tendo em vista a facilidade de fabricação e abundância de matéria-prima – o barro”.

A cerâmica é produzida há cerca de 10-15 mil anos, depois que houve a necessidade de se obter objetos para armazenar água, alimentos colhidos e sementes para a safra. Esses objetos deveriam ser resistentes mecanicamente, e de fácil fabricação, e isso foi encontrado a partir do processamento da argila (ANFACE; 2017).

Os materiais da cerâmica vermelha datam como um dos materiais mais antigos fabricados pelo homem, conforme registra o SEBRAE (2008):

“Os primeiros tijolos queimados datam de 3000 a.C., cuja aplicação estava voltada aos revestimentos externos e muros de proteção, apesar da técnica ter se desenvolvido séculos antes, especialmente na queima de utensílios domésticos. E entre 1600 e 1100 a.C. foram encontrados, onde ficava localizada a Babilônia, alguns exemplares de tijolos queimados”.

Com o avanço das técnicas de produção desses materiais, trouxe um crescimento de olarias, principalmente, a partir do Período Neolítico que ficou marcado como a era do melhoramento na produção cerâmica. O processo dos materiais cerâmicos progrediu ainda mais. A intensa fabricação de cerâmicas foi uma importante marca para a relação de controle e desenvolvimento dos recursos naturais (SILVA, 2004).

Os materiais estão interligados com a sociedade. Em todas as circunstâncias, os materiais acompanham a sociedade em seu progresso. À medida que a sociedade vai se desenvolvendo, novos tipos de materiais passam a ser criados, ou mesmo aperfeiçoados, devido à exigência natural das civilizações, como é o caso dos materiais cerâmicos. Os materiais cerâmicos representam uma das classes mais antigas de materiais da engenharia. São duráveis, produzidos a partir de átomos metálicos com não metálicos, através de reações iônicas ou covalentes (PAVANATI, 2015).

2.2 INDÚSTRIA CERÂMICA VERMELHA

O termo grego “kéramos” significa “argila queimada”. A massa argilosa pode apresentar plasticidade, até adquirir a forma desejada e é um material que adquire grande

resistência mecânica e dureza a partir do processo de queima (ANFACER, 2017; ROSSA, 2009; SILVA, 2009).

A indústria de cerâmica vermelha está presente em grande escala nos âmbitos da engenharia civil, principalmente. Encontra-se materiais em diferentes aplicações das construções como em estrutura de edificações, coberturas e até mesmo em pontes. O Brasil é um grande produtor mundial de produtos cerâmicos, ao lado da Espanha, Itália e China, mas consome quase toda a sua produção. Os produtos brasileiros gerados encontram-se distribuídos, em ordem de importância, nas regiões Sudeste, Sul e Nordeste (BANCO DO NORDESTE, 2010).

As primeiras peças cerâmicas fabricadas no Brasil foi desde os primeiros indígenas. Depois, os portugueses se instalaram no país para montar estruturas como olarias, estimulando ainda mais esse mercado. Os primeiros objetos de cerâmica foram: vasos, instrumentos de utensílios como as colheres, adornos para o corpo, entre outros. Depois que os portugueses chegaram, começou a produção de tijolos, e telhas (ROSSA, 2009).

A localização das indústrias cerâmicas é determinada por dois fatores principais: a proximidade de jazidas e a proximidade dos mercados consumidores. Contudo, se a indústria dispor de boa estrutura, boa mão-de-obra e equipados transportes para a extração da argila, o fator predominante da localização da cerâmica torna-se essencialmente a proximidade dos consumidores, não levando tanto em consideração a proximidade das jazidas. As indústrias de cerâmica vermelha são encontradas em todo o país, mas são mais abundantes nas regiões Sudeste (44,38%), sul (21,34%) e, ultimamente, têm se expandido no Nordeste com 21,25% da produção. (SEBRAE, 2015)

De acordo com o SEBRAE (2015), a cerâmica vermelha teve um bom desempenho em relação às cerâmicas brancas¹, em se tratando de produção. É dito também que cerca de 9.071 pequenas empresas compõem esse setor; e a quantidade mensal de blocos de vedação estrutural que são produzidos mensalmente é cerca de 4 bilhões de blocos.

A cerâmica vermelha compreende os materiais com coloração avermelhada, empregados na construção civil, tais como tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas, e utensílios de uso doméstico e decorativos” (KAZMIERCZAK, 2007; SEBRAE, 2008; SILVA, 2009;). A cor avermelhada desses produtos se dá devido à presença de compostos ferrosos que são responsáveis por essa coloração após

¹ Compreende os materiais constituídos por um corpo branco e em geral recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor. Exemplo: Louça Sanitária; Louça de Mesa; Isoladores Elétricos par Baixa e Alta Tensão;

a queima. As cerâmicas que ficam brancas após a queima contêm menos de 1% de Fe_2O_3 . Cerâmicas que contêm entre 1% e 5% de Fe_2O_3 apresentam coloração rosácea, já as cerâmicas vermelhas contêm 5% ou mais de Fe_2O_3 em sua composição (COUTINHO e VIEIRA, 2016).

Figura 1: Materiais cerâmica vermelha



Fonte: Autor, 2017

2.2.1 Indústria cerâmica no Rio Grande do Norte

O Rio Grande do Norte (RN) tem ganhado grande destaque pelo quantitativo de indústria, e também pelo desenvolvimento econômico e territorial que essas olarias têm gerado nas regiões nas quais estão inseridas. “As empresas que atuam no setor cerâmico desse estado, em geral estão localizados em zonas rurais, concentradas próximas de Natal, no vale do rio Assú, e nas regiões do Seridó e Oeste potiguar” (GALDINO et. al., 2012).

O setor de cerâmica no estado é composto por 186 indústrias distribuídas em 42 municípios, gerando 5.900 empregos diretos, com uma produção estimada de 111.000 milhares/mês, distribuídas em 54% de telhas, 42% de tijolos (blocos de vedação) e 4% de outros produtos. Das 186 indústrias cerâmicas distribuídas em todo o estado, 16 delas estão na região Oeste, divididas em 9 cidades. Nos últimos 11 anos, o número de indústrias permaneceu constante nessa região, tendo em vista que as cerâmicas desativadas de Umarizal e Upanema foram compensadas com a criação de indústrias desse ramo nas cidades de Lucrécia e São Francisco do Oeste (GALDINO et. al., 2012).

2.3 PROPRIEDADES DA ARGILA

Argila é um material natural, de textura terrosa, de granulação fina, constituída essencialmente de argilominerais, podendo conter outros minerais como quartzo, mica, pirita, hematita, dolomita e minerais amorfos (ABC, 2017; KAZMIERCZAK, 2007).

Para Verçosa e Dias (2013, p.527) as argilas são:

“Materiais terrosos naturais que, quando misturados com água, adquirem a propriedade de apresentar alta plasticidade. Durante muito tempo se conceituou que argilas eram substâncias originárias da caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), e o resto era impureza extremamente pequenas, formadas por um número restrito de substâncias. Hoje se sabe que as argilas são constituídas essencialmente de partículas cristalinas extremamente pequenas, formada por um número restrito de substâncias, chamadas de argilo-minerais”.

Argilominerais são minerais presentes nas argilas, que em sua maioria é formada pelo grupo dos silicatos, mas que normalmente são acompanhados de outros materiais e minerais tais como quartzo, feldspatos, micas, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, carbonatos matéria orgânica. (ANDRADE, 2009)

Na tabela 1, pode-se observar um resumo de algumas propriedades mineralógicas dos principais elementos constituintes da argila. Além desses componentes, as argilas podem conter outros minerais como quartzo, feldspato, mica, pirita, hematita, dolomita e minerais amorfos (KAZMIERCZAK, 2007). A tabela 1 mostra os principais elementos presentes nas argilas, e as principais propriedades desses componentes.

Tabela 1: Propriedades dos principais elementos constituintes das argilas

ELEMENTOS	PRINCIPAIS PROPRIEDADES
Alumina (Al_2O_3)	Propicia estabilidade dimensional em temperaturas elevadas
Carbonato e sulfato de cálcio e magnésio	Resultam em expansão volumétrica; agem como fundentes.
Matéria orgânica	Resultam em retração, fissuras durante os processos de sazonalidade e queima e diferenças de coloração em um mesmo componente cerâmico
Sílica livre (SiO_2 /areia)	Diminui a retração durante os processos de sazonalidade e queima, e diferenças de coloração em um mesmo componente cerâmico
Silicatos e fosfatos	São fundentes, alguns aumentam a resistência da cerâmica. Porém, em grandes quantidades podem acarretar a quebra das peças.

Sais solúveis	Propiciam o aparecimento de eflorescências nos componentes cerâmicos
Água	De constituição: Absorvida ou de inchamento, faz parte da estrutura das moléculas; De plasticidade (adere às superfícies das partículas das moléculas) De capilaridade (preenche os vazios)
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	Responsável pela cor avermelhada nas cerâmicas vermelhas e diminui a plasticidade

Fonte: KAZMIERCZAK, 2007

Além das propriedades mineralógicas, as argilas possuem outras importantes propriedades tais como a plasticidade, teor de umidade, granulometria e retração, que influenciam diretamente na qualidade dos produtos desejados.

De acordo com Verçosa e Dias (2013), a plasticidade é uma propriedade importante que influencia o comportamento do material e diz respeito o quanto as argilas podem ser deformadas sem sofrer ruptura. Além disso, esses autores classificam as argilas em gordas e magras, a depender do grau de coloides que está contido na massa. Os coloides são partículas menores que $1\mu\text{m}$ de diâmetro que podem ser encontradas nas argilas, e são de dois tipos orgânicos (humos) ou inorgânico (Minerais argilosos).

As argilas magras são mais porosas e frágeis, devido a quantidade de sílica, micas, e facilitam a secagem. Esse tipo de argila atua como agentes desplastificantes nas composições, visto que esses reduzem a plasticidade quando misturado com materiais plásticos. As argilas ditas gordas são muito plásticas, devido à grande quantidade de alumina, e deformam-se bem mais durante o cozimento. Durante a secagem, as argilas gordas tendem a ter uma maior retração por serem muito plásticas. (VERÇOSA, DIAS; 2013; PRADICELLI, 1997).

A granulometria é outra propriedade muito importantes dos minerais argilosos, já que essa interfere em muitas outras propriedades tais como plasticidade e retração, que são influenciadas pelos tamanhos das partículas e das formas da distribuição granulométricas. O conhecimento acerca da granulometria é importante para se obter diagnóstico sobre possíveis resultados e defeitos durante o processo de produção dos produtos desejados (MONTEIRO, 2012). As argilas com faixas granulométricas muito pequenas como as argilas plásticas possuem elevados grau de compactação, o que dificulta a eliminação de água, ocasionando fortes retrações e deformações, e consequentemente grandes perdas nos produtos (PRADICELLI, 1997).

Ao longo da produção de cerâmica vermelha, pode-se misturar argilas gordas e argilas a fim de fabricar produtos com características desejadas. Dessa forma, existe a mistura de duas

ou mais argilas para diminuir a plasticidade da massa, para obter a qualidade dos produtos que se é desejado (MONTEIRO, 2012). A mistura de argilas plásticas, com outras que possuem menos plasticidade, reduz a interação com a água, gerando poros que permitem a passagem de água no interior das peças até a superfície. Isso faz com que diminua o processo de secagem dos materiais devido à menores gradientes de umidade, e consequentemente menos prejuízos ao produto (PRADICELLI, 1997).

A retração é a propriedade de variar de volume com a variação de umidade; e é proporcional ao grau de umidade e varia também com a composição da argila. Quanto mais caulinita, maior a retração (3 a 11%), enquanto que nas “argilas magras” a retração varia de 1 a 6%. Além disso, a quanto maior a plasticidade, maior será a retração, o que não é bom, pois como a retração não é uniforme, pode ocasionar deformações pontuais nos produtos argilosos (VERÇOSA, DIAS; 2013).

2.3.1 Estrutura dos argilominerais

De um modo geral, as argilas que são mais adequadas à fabricação dos produtos de cerâmica vermelha apresentam em sua constituição os argilominerais illita, de camadas illita-montmorilonita ou clorita-montmorilonita, além da caulinita, e ainda pequenos teores de montmorilonita e compostos de ferro (ABC, 2017).

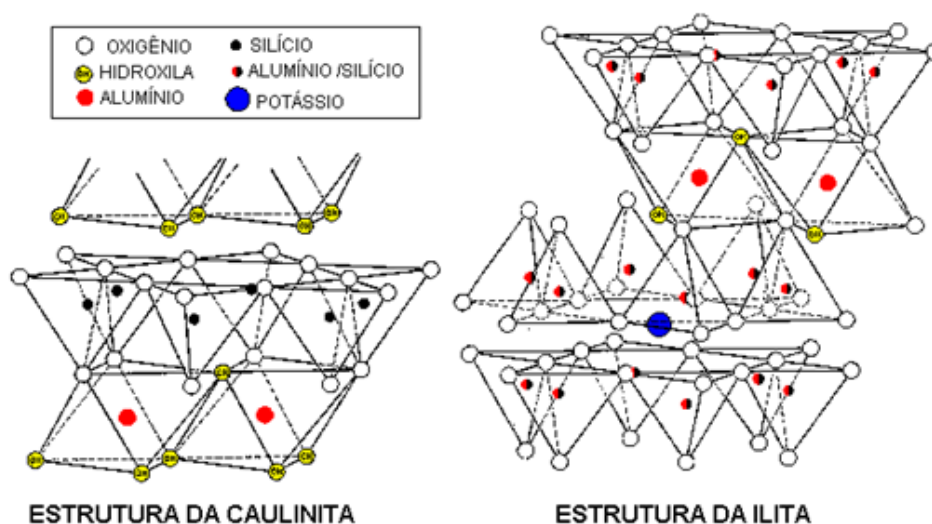
De acordo com Nascimento (2007) e Andrade (2009), as principais características dos argilo minerais são:

Caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$): esse grupo é o mais comum dos argilominerais, e possui uma estrutura bilaminar, composta por uma capa tetraédrica SiO_4 e uma octaédrica $\text{Al}_2(\text{OH})_6$, podendo ocorrer substituições de Si^{4+} por Al^{3+} no tetraedro e de Al^{3+} por Fe^{2+} e/ou Mg^{2+} no octaedro. Essa substituição não altera as propriedades físicas do argilomineral. Quando pura, é pouco utilizada em cerâmica vermelha por necessitar de elevadas temperaturas para adquirir melhor resistência mecânica, sendo assim, deve ser misturada com outros minerais, tornando-se grande responsável mecânicos dos produtos cerâmicos. Além disso, seu emprego puramente é pouco utilizado devido principalmente ao seu comportamento refratário durante a queima, o que dificulta a obtenção do nível de porosidade especificado. Apesar disso, a caulinita possui pouca plasticidade e maior velocidade de secagem.

Montmorilonita $((\text{Na}, \text{Ca})_{0,3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2) \cdot n\text{H}_2\text{O}$): esse grupo é formado por três camadas, sendo duas tetraédricas e uma octaédrica, como visto na figura 1. São classificados de acordo com a localização e o tipo de cátions presentes na estrutura cristalina. Em pequenas proporções, é benéfica nas argilas para cerâmica vermelha, porque favorece a

plasticidade, e fusibilidade e sintetização. Esse grupo apresenta-se como principal característica a capacidade de absorver moléculas de água, tornando-se assim bastante plástica, produzindo marcantes dilatação de sua estrutura, o que pode ocasionar problemas na moldagem e trincas na secagem e queima.

Figura 2: Estrutura dos argilominerais



Fonte: SANTOS, 1999

Ilita ((KH_3O). $\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$): esse argilomineral apresenta uma estrutura cristalina semelhante à da montmoriloneta, porém, com suas camadas compostas por octaedros de alumínio intercalados por tetraedros (SiO_4)⁴⁻. Devido a isso, as camadas estruturais ficam rigidamente ligadas e não se expandem. A substituição de Si^{4+} por Al^{3+} nos tetraedros gera uma carga negativa que é compensada por um átomo de potássio entre camadas, que neutraliza a carga negativa e mantém as camadas unidas. O potássio nessa estrutura faz com que a illita seja mais fundente do que a caulinita (SANTOS, 1999). A illita é usada na produção de tijolos, telhas e lajotas. Sua principal função é contribuir com a coloração avermelhada dos produtos. Possui plasticidade alta, facilitando o processo de moldagem dos produtos cerâmicos, e apresenta bom desempenho na secagem.

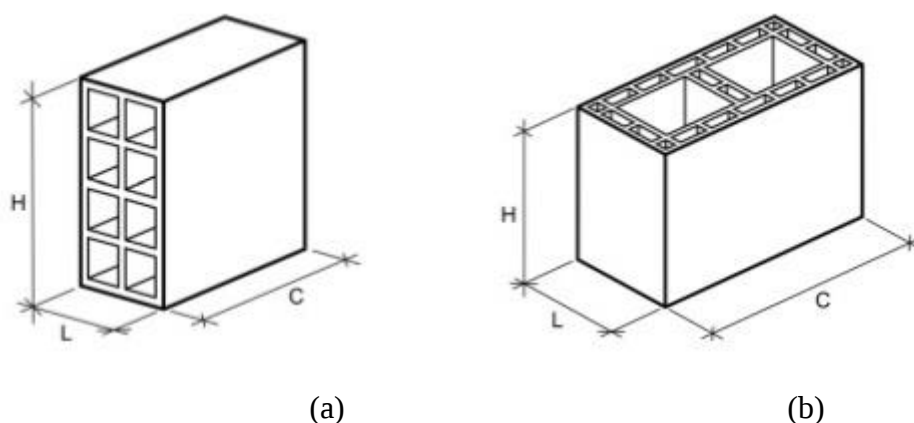
2.4 BLOCOS CERÂMICOS

Os blocos cerâmicos são produtos que tem como a argila como principal insumo, e que após etapas no processo de produção alcança o grau de dureza e resistência mecânica à compressão. Possui diversas aplicabilidades na construção civil, principalmente em paredes de alvenaria que podem ter as funções de vedação ou estrutural em obras. Eles representam de 80 a 95% do volume da alvenaria em uma obra civil. (NÓBREGA et al., 2016)

Esses blocos cerâmicos utilizados na execução das alvenarias de vedação, com ou sem revestimentos, devem atender à norma, que é responsável por definir os parâmetros de fabricação, e fixar os requisitos dimensionais, físicos e mecânicos exigíveis que eles devem ser submetidos. Essa norma é dividida em três partes: Blocos cerâmicos de vedação; blocos cerâmicos para alvenaria estrutural; e blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e vedação – Métodos e ensaios.

De acordo com NRB 15270-1(ABNT; 2005) “bloco cerâmico de vedação é a componente da alvenaria de vedação que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contém”. Pode ser encontrado basicamente dois tipos de blocos que diferem quanto ao direcionamento de seus furos prismáticos. Normalmente os blocos cerâmicos para vedação é produzido para serem usados especificamente com furos na horizontal, representado na Figura 3(a). Essa norma diz ainda que os blocos cerâmicos de vedação não têm a função de resistir a outras cargas verticais além do peso da alvenaria da qual faz parte. Além dos blocos com furos prismáticos na horizontal, os blocos de vedação também podem ser assentados com os furos na vertical, como visto na figura 3(b).

Figura 1: Bloco cerâmico de vedação com furos verticais e horizontais



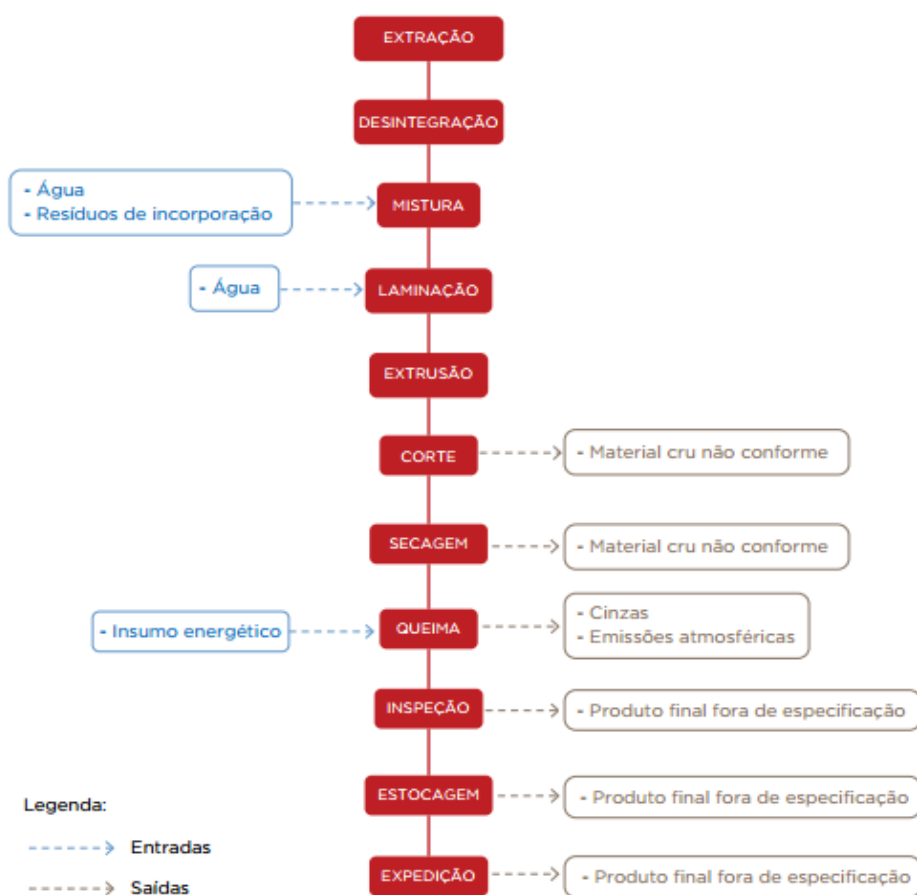
Fonte: ABNT NRB 15270-3:2005

De acordo com NRB 15270-1 (ABNT 2005), “os blocos cerâmicos devem atender a requisitos visuais, tais como: não deve apresentar defeitos como trincas, quebras, superfície irregulares, ou qualquer tipo de deformação”. A coloração não deve ser escura, mas ter um tom alaranjado, depois de queimado.

2.5 PROCESSOS PRODUTIVO DOS BLOCOS CERÂMICOS

Várias etapas representam o processo produtivo da cerâmica vermelha. A fabricação dos blocos cerâmicos se dá pela conformação plástica da argila, podendo conter ou não aditivos, e queimados a altas temperaturas. De modo geral, essa produção é bem simples, porém é preciso que todos os estágios ocorram de maneira controlada e segura para garantir a qualidade do produto final, a fim de evitar ou minimizar perdas nos blocos cerâmicos, ao longo das etapas de produção. Basicamente essas etapas são: Exploração de jazidas, composição das matérias-primas, extrusão, corte, secagem e processo do ciclo de queima (BATISTA et. al., 2008). As etapas de produção podem ser resumidas de acordo com o fluxograma da figura 4.

Figura 2: Fluxograma Processo Produtivo dos Blocos Cerâmicos



Fonte: FIEMG, 2013

2.5.1 Extração da Argila

A extração da argila, pode ser feita de duas maneiras: manual utilizando pás, picareta, enxadas; ou mecanizada, por meio de escavadeiras, tratores, pás carregadeiras, a depender do

tipo de argila e barro que será utilizado no processo, como visto na figura 5. A importância do tipo de barro que será utilizado é tal que muitas vezes a indústria prefere extrair a argila de barreiras localizadas a grandes distancias da indústria cerâmica, caso essa disponha de abundância de mão de obra e transporte adequados. (VERÇONA E DIAS,2013)

Figura 3: Extração da argila



Fonte: JUNIOR, 2010

Ainda na extração, existem alguns fatores que devem serem considerados como a composição das jazidas (tipos de aglomerantes existentes, e pureza da jazida), a quantidade de argila disponível para extração, e o custo do transporte até a cerâmica (KAZMIERCZAK; 2007).

2.5.2 Recebimento da matéria-prima e estocagem

De acordo com Junior (2010), “o sazonalidade, ou seja, a prática de estocagem a céu aberto das argilas é comum desde a antiguidade. O intemperismo alivia as tensões nos blocos de argila, melhora sua plasticidade e trabalhabilidade, lixívia os sais solúveis e homogeneiza a umidade”.

Normalmente, até esse momento não é feito nenhum tipo de preparação da massa até a armazenagem. Nessa etapa, é preciso fazer testes com uma amostra para fazer ensaios no resíduo, a fim de detectar problemas iniciais evitando prejuízos ao longo da produção. Todo o material extraído deve ser armazenado em locais fechados, normalmente é coberto com lonas,

em que é praticado um rápido período de sazonalidade, que acelera a decomposição de sais e matéria orgânica presentes na mesma (FIEMG, 2013). Contudo, observa também que em algumas indústrias cerâmicas, o estoque é realizado em locais abertos, como visto na figura 6.

Figura 4: Estocagem da matéria prima



Fonte: Autor, 2017

2.5.3 Preparo da massa cerâmica

Nessa etapa é reduzido as partículas, permitindo melhor homogeneização da massa contribuindo para o aumento da plasticidade, como visto na figura 7. Essa etapa objetiva a uniformidade dos particulados, que favorecerá a eficiência dos alimentadores, que deverá sempre ser contínua e homogênea. (NÓBREGA et al., 2016). De acordo com a FIEMG 2013 essa fase, é responsável por reduzir o teor de impureza, e também de homogeneizar a argila (argila/argila ou argila/água) e que precisa ter um descanso de 24 a 48 horas. Além disso, esse órgão ainda expõe a importância de um bom preparo da massa visando a qualidade do produto, já que isso pode reduzir cerca de 40% dos índices de deformação, além de possuir 25% de melhoria na produtividade, e garante que existe uma economia no consumo de até 35% de energia. A preparação

Verçosa e Dias (2013), divide essa etapa em quatro métodos que podem favorecer para uma melhor matéria prima que contribui para aumentar a qualidade no estado final do produto:

Apodrecimento: A argila fica descansando em depósitos ao ar livre. Tem por finalidade principal a fermentação das partículas orgânicas, que também ficam coloidais, aumentando a plasticidade.

Maceração: É feita para se obterem menores partículas, grãos finos e, com isso maior plasticidade, melhor contato entre os componentes etc.

Correção: É feita para dar à argila a constituição que se deseja.

Amassamento: Serve para preparar a argila para a moldagem, com a qual muitas vezes se confunde ou é simultâneo.

Figura 5: Preparo da massa



Fonte: Autor, 2017

2.5.4 Laminação

De acordo com Kazmierczak (2007, p. 573), “O amassamento realizado pelo auxílio de laminadores, tem a função principal de triturar, por esmagamento, os torrões e grãos de maior dimensão da argila, reduzindo-os a uma dimensão adequada para a moldagem”. O laminador (figura 8) é o equipamento responsável por essa etapa, ele possui dois cilindros paralelos que giram em direções contrárias tendendo ao mesmo centro, com diferentes velocidades. A principal função desse aparelho é moer a argila para obter uma melhor aglutinação do material (NÓBREGA et al., 2016).

A laminação é um importante processo que determina a qualidade do acabamento dos produtos. Essa etapa feita de maneira bem-sucedida, evita perdas e acelera o processo de queima, já que diminui o consumo de energia, tendo em vista que a granulometria dos materiais até aqui já tem diminuído consideravelmente. (FIEMG, 2013).

Figura 6: Laminador



Fonte: Autor, 2017

2.5.6 Extrusão e corte

Na extrusão, a massa deve ser moída por via úmida, e conformada por meio da passagem por uma boquilha (figura 9), que funciona como molde para os blocos. (KAZMIERCZAK, 2007). Essa etapa consiste na compactação da massa argilosa, sob pressão por meio de um bocal apropriado, também chamado de boquilha, formando uma fita uniforme e contínua a fim de se obter o formato e as dimensões desejadas que serão cortadas. Como o processo de produção incorpora muito ar na massa cerâmica, que faz com que se dilate na etapa da queima, ou mesmo se deforme, muitas vezes é acoplada nessa etapa câmaras de vácuo a fim de retirar o ar da massa cerâmica, diminuindo a porosidade. (VERÇONA E DIAS, 2013).

Depois que o bloco de argila passa pela extrusão, ele fica contínuo e deve ser cortado nas dimensões previstas da componente que está sendo fabricado, conforme especificações da ABNT NBR para blocos cerâmicos. O corte pode ser realizado de maneira manual ou mecânica. Geralmente o corte é feito por uma guilhotina de arames preso a um esquadro de madeira ou metal, conforme a figura 10. Durante essa etapa, as peças que aparentemente possuem bom estado, ou que estão bem conformadas, são levados para a etapa seguida, enquanto que as peças que não estiverem bem conformadas, voltam para a etapa de preparo da massa e passam por todo o processo novamente. (VERÇONA E DIAS, 2013).

Figura 7: Boquilha

Fonte: Autor, 2017

Figura 8: Corte dos blocos

Fonte: Autor, 2017

2.5.7 Secagem

A partir dessa etapa, o produto já entra em estado de processo final. Esse processo tem como objetivo diminuir ainda mais a umidade antes da queima. Basicamente existem os tipos de secagem natural e artificial.

A secagem artificial utiliza-se de secadores para acelerar a extração de água dos produtos. A injeção de calor é feita através de exaustores, normalmente aproveitados o calor da área de resfriamento dos fornos (NÓBREGA et al., 2016).

De acordo com Verçosa e Dias (2013), existem quatro tipos de secagem:

1. **Secagem natural:** é o processo comum nas olarias, mas é demorado e exige grandes superfícies. Ela é feita em telhados extensos, ao abrigo do sol e com ventilação controlada. Às vezes, é realizada em depósitos quase fechados, de madeira, colocados em torno e acima do forno, do qual aproveitam o calor;

2. **Secagem por ar quente-úmido:** o material é posto nos secadores, onde recebe ar quente com alto teor de umidade, até que desapareça a água absorvida. Em seguida recebe apenas ar quente, para perder a água de capilaridade. Com isso as deformações são mínimas;

3. **Secadores de túnel:** são túneis, pelos quais se faz passar o calor residual dos fornos (de 40 °C a 150 °C). As peças são colocadas em vagonetas, que percorrem lentamente o túnel no sentido da menor para a maior temperatura

4. **Secagem por radiação infravermelha:** é pouco usada, em razão do custo e por só servir para peças delgadas. No entanto, dá alto rendimento e pouca deformação. É usada para peças de precisão.

Para a FIEMG,2013, ambos os métodos de secagem natural e artificial possuem vantagens e desvantagens. O método natural possui um menor custo, contudo possui um tempo elevado de secagem, e contribui mais para a ocorrência de trincas. Já os métodos de secagem artificial possuem um tempo de produção menor, e aumenta a produtividade, reduzindo percas.

Figura 9: Secagem natural dos blocos cerâmicos



Fonte: Autor, 2017

2.5.8 Queima

De acordo com Verçosa e Dias (2013, p. 535) a etapa da queima “é a parte mais importante da fabricação dos materiais cerâmicos”. Conforme Pavanati (2015), a argila plástica é conformada, depois da secagem a massa enrijece, mas é somente com a queima em altas temperaturas que adquire o maior grau de densificação do material. Ainda sobre a queima dos blocos cerâmicos, a FIEMG (2013) “os produtos são submetidos a temperaturas elevadas, que para a maioria dos produtos situa-se entre 800° C a 1.000° C, em fornos contínuos ou intermitentes”.

A fase de tratamento térmico pode ser dividida em três etapas: (i) pré sintetização, (ii) sintetização e (iii) resfriamento. Dentre esses, a sintetização é o mais complexo e que exigem maior atenção, já que nessa etapa o material sofre maiores reações e transformações químicas e físicas que concedem ao produto final microestruturas com propriedades requeridas. (DUTRA,2007). Contudo, deve-se atentar também para as outras duas etapas, a fim de que todo o processo térmico obtenha um controle desejado.

A queima é um importante método de controle de qualidade dos blocos cerâmicos. Muitas perdas são detectadas nos produtos nessa etapa pois se trata de uma fase bastante delicada, e acarreta vários prejuízos aos materiais quando não há um controle. Nessa fase os materiais sofrem transformações físico-químicas, alterando as propriedades mecânicas e conferindo-lhes as características inerentes a todo produto cerâmico (SILVA, 2014; NÓBREGA Et. al.,2016).

Assim, Verçosa e Dias (2013 p. 534), falando acerca da queima dos blocos cerâmicos, diz que:

“Durante o processo de queima do material (cozimento) ocorrem diversas reações químicas; algumas são rápidas, outras exigem tempo; algumas devem completar-se, outras devem ser evitadas; algumas devem ocorrer no início, outras no fim. Disso resulta que o problema é complexo, e influi não somente a temperatura alcançada, mas também a velocidade de aquecimento, de esfriamento, atmosfera ambiente, tipo de forno, combustível usado etc.”

Algumas propriedades que caracterizam os blocos cerâmicos, como a coloração avermelhada, acontecem durante o processo de queima devido a transformações químicas. Isso se dá devido ao estado de oxidação do elemento ferro ao longo da temperatura de queima. Esse tom alaranjado também depende da proporção de alumina (Al_2O_3), óxido de cálcio (CaO) e magnésio (Mg) na cerâmica, e a composição dos gases que entram em contato com o material durante a queima (COUTINHO e VIEIRA, 2016).

Figura 10: (a) Forno utilizados para a queima de blocos cerâmicos (b) Tijolos prontos para serem queimados



Fonte: Autor, 2017

2.5.9 Inspeção

Depois que o material é retirado do forno, existe a etapa da inspeção, que consiste basicamente em analisar a qualidade do produto final. Toda a inspeção deve obedecer às normas ABNT NRB 15270-1: 2005 - Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos, e ABNT NRB 15270- 3: 2005 - Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio.

A inspeção que é realizada ainda na indústria, é basicamente de maneira visual, em que analisa se há trincas, e verifica a coloração escura. Além disso, também pode ser analisada, em algumas amostras, características geométricas, medindo todas dimensões de fabricação depois de retirado do forno, com a quantidade de amostras indicadas pela norma, a depender do lote de fabricação, regido pela norma. Além disso, a inspeção também pode ser realizada em amostras através de testes físicos, e mecânicos, que vai analisar a qualidade do estado final do produto. A inspeção é importante para evitar que sejam comercializados produtos com defeitos como: trincas, retração, compactação. (SILVA, 2014).

Os materiais que apresentam bom estado final, que estiverem de acordo com a norma, serão reservados para a expedição, já os que apresentam defeitos, serão descartados, podendo voltar a ser inserido na massa cerâmica, depois de passar por todo um processo de reciclagem, ou em outros casos são simplesmente desperdiçados, e utilizados para outra finalidade.

2.5.10 Estocagem do produto final

A estocagem é outra etapa simples, já que é a fase em que os materiais que foram aprovados na fase de inspeção, ou seja, os produtos que estão prontos a serem comercializados, ficam armazenado em locais que podem ser abertos ou fechados.

Figura 11: Estocagem do produto final



Fonte: Autor, 2017

2.5.11 Expedição

A expedição é o transporte dos materiais que serão comercializados. Normalmente é feita por caminhões que são da indústria cerâmica, mas que também podem ser fretados para esse fim. É importante também que essa etapa seja realizada com cuidado, a fim de evitar perdas de materiais ao longo do trajeto, devido a colisões entre os blocos cerâmicos.

Depois de analisar todo o processo produtivo visando o controle de qualidade do produto, é preciso também verificar o tipo de forno que será utilizado no processo de queima da massa cerâmica, já que a eficiência do material final também está ligada aos sistemas empregados nos fornos.

2.6 PROPRIEDADES DA QUEIMA DOS BLOCOS CERÂMICOS

2.6.1 Defeitos a Partir da Queima

Durante toda a produção, intensificado pela etapa da queima, alguns defeitos são recorrentes nos blocos cerâmicos, tais como: bolhas superficiais, que podem ocorrer devido ao aumento de pressão no interior da peça mecânica, por causa da evolução dos gases. Além desse, a baixa porosidade e a elevada velocidade de aquecimento são os fatores que mais contribuem para a formação de bolhas na parte externa do material. Outro defeito bastante comum nos materiais é o empenamento, que são provocados principalmente na secagem, devido à diferença na velocidade de secagem em diferentes regiões da peça, pois tensões residuais de contração acontecem, provocando essa deformação. Esse defeito que é comum observar após a secagem, também pode ser visto ao longo da etapa de queima, já que as intensas variações de temperaturas podem provocar uma má conformação nos blocos. (ACCHAR,2006).

De acordo com Acchar (2006), outros defeitos que a queima proporciona nos blocos cerâmicos são o coração negro e as trincas. É comum aparecer trincas após a secagem, mas normalmente esse defeito é ocasionado devido ao aquecimento ou resfriamento incorreto das peças mecânicas. As manchas encontradas no interior do produto após a queima, chamada também de coração negro, se dá devido a queima de substâncias orgânicas. Essa coloração indesejada pode ser minimizada a partir da adição de resíduos não plásticos.

2.6.2 Análises térmicas

Análises térmicas podem ser definidas como sendo “um grupo de técnicas nas quais se acompanham as variações em uma propriedade física ou químicas de uma substância ou uma mistura, enquanto a mesma é submetida a um programa de temperatura controlada” (IONASHIRO; GIOLITO, 1980; IONASHIRO, 2005). Essa mesma definição é adotada pela Confederação Internacional de Análise Térmica e Calorimetria (ICTAC).

Segundo Acchar (2004), os variados fenômenos químicos e físicos que podem ser identificados com auxílio das análises térmicas, destacam-se: a fusão, cristalização, mudança de fase, reações de oxidação redução, calores de transição e calores específicos.

De acordo com Ionashiro (2005), para que uma técnica térmica possa ser considerada termoanalítica, três critérios devem ser satisfeitos:

- 1- Uma propriedade física tem que ser medida;
- 2- A medida deve ser expressa (direta ou indiretamente) como função da temperatura;
- 3- A medida tem que ser feita sob um programa controlado de temperatura.

“As análises térmicas são comumente utilizadas no estudo de materiais cerâmicos, visto que fornecem informações essenciais sobre seu comportamento durante a evolução térmica” (ACCHAR, 2006). Essas análises são de grande utilidade para manter o controle de qualidade, e permitir a investigação dos materiais.

Ionashiro e Giolito (1980), classificam os métodos termoanalíticos em relação às propriedades físicas medidas em função da temperatura, como pode ser visto na tabela 2:

Tabela 2: Classificação das principais técnicas termoanalíticas

Propriedade física	Técnica principal	Abreviatura
Massa	Termogravimetria	TG
	Análise de gás desprendido	AGE
	Análise térmica por emissão	ATE
Temperatura	Determinação da curva de aquecimento	-
	Análise térmica diferencial	ATD
Entalpia	Calorimetria exploratória diferencial (**)	CSD
Dimensões	Termodilatometria	TD
Características mecânicas	Análise termomecânica	AMT
	Análise termomecânica dinâmica	AMD
Características ópticas	Termoptometria	TO
Características magnéticas	Termomagnetometria	TM
Características elétricas	Termoeletrometria	TE

Fonte: Adaptada de Ionashiro e Giolito (1980)

2.6.3 Temperatura e Curva de Queima dos Blocos Cerâmicos

Conforme Verçosa e Dias (2013) descrevem, a queima dos produtos cerâmicos é dividida em:

Desidratação: durante o aquecimento da argila, já em uma temperatura de 20 a 150°, ela perde água de capilaridade e amassamento.

Oxidação: Nas temperaturas de 150 ° C a 600 ° C a argila perde água adsorvida e torna-se rígida. Depois dessas transformações físicas, agora com temperaturas em mais de 600° alguns estágios químicos acontecem, tais como: desidratação química, com a perda da água de constituição das moléculas, forçando o endurecimento e a queima de matérias orgânicas. Depois disso ocorre a oxidação dos carbonetos, formando óxidos.

Vitrificação: à uma temperatura em torno de 950° ocorre a vitrificação, a sílica de constituição e das areias formam uma certa quantidade de vidros, dando dureza, resistência, e compactação ao conjunto, formando então a cerâmica propriamente dita.

De acordo com Andrade (2009), entre 870° C e 900°C os carbonatos decompõem-se e liberam CO₂ acima de 700°C desenvolvendo-se reações químicas da sílica e da alumina com os elementos fundentes, formando-se complexos sílico-aluminoso, que são responsáveis pela dureza e resistência do corpo cerâmico. Ainda acerca desse autor, acima de 1000 °C os compostos sílico-aluminosos, que estão na forma vítrea, começa a amolecer e o corpo cerâmica pode escoar, deformando-se. De acordo com Dutra (2007), por volta dos 800°C, tem-se a máxima dilatação. Em torno de 900°C e 950°C inicia a retração de sintetização e as transformações mineralógicas.

O controle da etapa de queima é de grande importância para se obter um produto de qualidade, já que a temperatura influencia fortemente nas propriedades tecnológicas dos blocos cerâmicos. Segundo Holanda e Pinheiro (2010), “a maioria das empresas de cerâmica vermelha no Brasil não utiliza uma temperatura de queima adequada na fabricação de seus produtos, o qual resulta em produtos de baixa qualidade”. As não adequações das condições de temperatura intensifica ainda mais os prejuízos ocasionados nos blocos cerâmicos. Portanto, uma curva de queima bem definida está diretamente relacionada à qualidade do produto final, pois a partir dela pode aumentar a produtividade e reduzir perdas na estrutura do material.

De acordo com a FIEMG (2013) a curva de queima:

“É um instrumento útil e necessário para qualquer processo de queima, que representa a medida entre o tempo e a temperatura determinante no processo. Sem a curva de queima fica praticamente impossível queimar um produto com qualidade e continuidade. Muitos problemas podem ser evitados com o uso da curva de queima, pois ela determina os pontos críticos que causam trincas no material (aquecimento e resfriamento). A velocidade de aquecimento e resfriamento não deverão ultrapassar 40°C/h, principalmente na temperatura de risco, 575° C ”.

A queima trata-se de um processo irreversível, e que exige alta demanda de energia. Além disso, “os corpos cerâmicos sofrem uma série de reações físico-químicas, como: desidroxilação de minerais argilosos, desidratação de hidróxidos, transformações de fases e fusão parcial com formação de uma fase líquida a alta temperatura”. (SALEIRO e HOLANDA; 2012 – Tradução nossa)

Além da temperatura, também é fundamental o controle do tempo de queima para que os produtos tenha um bom estado final. Não existe tempo nem curvas padrão de temperatura, já que esses parâmetros variam de acordo com a argila, o tipo de forno, e com a eficiência de

queima (ANDRADE, 2009). A análise do ciclo de queima é de suma importância, já que relaciona o tempo e a temperatura de queima, e está diretamente ligado a parâmetros estruturais que se deseja melhorar. Esse ciclo pode ser do tipo queima lenta, e queima rápida. No Brasil, a maioria das indústrias cerâmicas vermelhas utilizam o método de queima lenta, em que o tempo de cozimento pode durar em torno de 24h (frio a frio), podendo chegar até mais de 30h, o que ocasiona baixa produtividade e grande consumo de energia térmica (DUTRA, et al., 2009).

Muitos estudos têm sido realizados para implementar o método queima rápida (3-5h no frio a frio) em cerâmicas, já que isso aumenta a produtividade, diminui o consumo energético e, em alguns tipos de cerâmicas, melhora as propriedades e otimiza o processo de queima. Contudo, os produtos da cerâmica vermelha ainda não possuem tanta eficiência² quanto a queima lenta, o que ainda requer bastante estudo nessa área. (SALEIRO e HOLANDA; 2012 – Tradução nossa)

Após a queima, os blocos cerâmicos são submetidos a um resfriamento lento, que pode durar de 8 a 24h. A velocidade do acréscimo de temperatura, o tempo de manutenção da temperatura máxima e a velocidade de resfriamento, dentre outros fatores são preponderantes para a determinação das propriedades que se deseja obter como resistência mecânica, propriedades físicas, contração linear, e os corações negros. (KAZMIERCZAK; 2007).

2.7 TIPOS DE FORNOS

O forno é o equipamento essencial para a produção do material cerâmico devido a sua queima. Existem diferentes tipos de fornos que existem estão diretamente ligados à eficiência da produção. Já foi visto que normalmente os fornos podem ser do tipo intermitentes, ou contínuos, e a escolha do forno que será usado dependem também da demanda da produção exigida. (NÓBREGA et al., 2016)

2.7.1 Fornos Intermitentes

No sistema intermitente, a queima acontece em câmaras específicas, também chamadas de sala de queima. O material fica nesse sistema em todo o processo desde o aquecimento do forno, durante a sinterização propriamente dita e vai até o resfriamento dos materiais (ANDRADE, 2009; NÓBREGA et al., 2016,).

² Quando submetido a queima rápida, algumas propriedades tornam-se eficientes, enquanto que outras não: A retração linear e a resistência à flexão diminuem. Mas há também menor densidade aparente, maior tamanho médio dos poros e maior resistência à geada. (SALEIRO e HOLANDA; 2012 – Tradução nossa)

Nos fornos intermitentes a queima consiste em carga manual, aquecimento até uma determinada temperatura, depois patamar na temperatura máxima e depois o resfriamento. São fornos onde a temperatura não é uniforme em toda sua câmara, de modo que se observa diferentes graus de queima no material, em função da localização da peça durante a queima. Normalmente são circulares ou retangulares, construídos com tijolos de alvenaria comuns (ANDRADE, 2009). De acordo com Silva (2014), pode-se destacar os principais fornos desse tipo em: forno caieira ou de campanha; forno tipo chama reversível; forno tipo paulistinha ou abóbada.

2.7.2 Fornos Contínuos

Esse tipo de forno tem as especificações de queima contínua, ou seja, são fornos com capazes de manter o fogo aceso sem interrupção, e os materiais podem ser retirados antes mesmo do resfriamento por completo, através das esteiras ou carrinhos com esse fim. A finalidade desse tipo de forno é aquecer as superfícies da peça de modo uniforme, com velocidade de queima contínua (ANDRADE, 2009; SILVA, 2014; NÓBREGA et al., 2016). De acordo com Silva (2014), os principais tipos de fornos contínuos empregados na indústria de cerâmica vermelha são: forno Hoffmann ou forno túnel convencional.

2.7.3 Vantagens e Desvantagens dos Tipos de Fornos

A tabela 4 representa as vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de fornos intermitentes mais utilizados.

Tabela 3: Vantagens e desvantagens dos fornos intermitentes

Fornos Intermitentes	Vantagens	Desvantagens
Forno Caieira	• Baixo custo de implantação.	• Produtividade baixa; • Qualidade inferior do produto; • Alto percentual de perdas (não conformes); • Alto custo de produção
Forno Paulistinha (retangular)	• Menor investimento; • Fácil construção e operação.	• Antieconômico; • A queima é irregular, apresentando variações de temperatura no interior do forno; • Apresenta lentidão no aquecimento e resfriamento

Forno abóboda ou redondo	• Fácil construção e operação; • Bom desempenho com qualquer tipo de combustível	• Alta velocidade de aquecimento; • Ausência de controle de registro.
Forno Vagão	• Maior produtividade, pois enquanto um vagão está queimando o outro está sendo montado ou no processo de resfriamento; • Fácil construção e operação; • Melhores condições de trabalho do funcionário, tanto na lateral como no topo da carga	• Deficiências durante a queima, principalmente no centro da carga; • Apresenta requeima,
Forno Metálico	• Melhor isolamento térmico (uso fibras cerâmicas); • Maior produtividade; • Fácil construção e operação; • Melhores condições de trabalho do funcionário.	• Custo de implantação superior ao Forno Vagão; • Deficiências durante a queima, principalmente no centro da carga; • Apresenta requeima, tanto na lateral como no topo da carga.

Fonte: adaptado de FIEMG,2013

A Tabela 4 representa as vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de fornos contínuos mais utilizados.

Tabela 4: Vantagens e desvantagens fornos contínuos

Fornos Contínuos	Vantagens	Desvantagens
Forno Hoffmann	• Bom rendimento energético; • Fácil operação e boa produtividade.	• Elevado custo de construção; • Requeima na soleira e falta de queima na abóboda; • Vazamento nos canais; • Manchas laterais causadas por falta de ar.
Forno Túnel	• Moderno e eficiente no consumo de energia; • Fácil operação de carga e descarga; • Fácil automação (robôs).	• Elevado investimento; • Exige um volume de produção contínuo; • Exige grande conhecimento técnico para sua operação; • As regulagens são feitas através das leituras dos termopares e deprimômetros; • Resfriamento rápido, responsável por trincas e choque térmico nos produtos.

Fonte: adaptado de FIEMG,2013

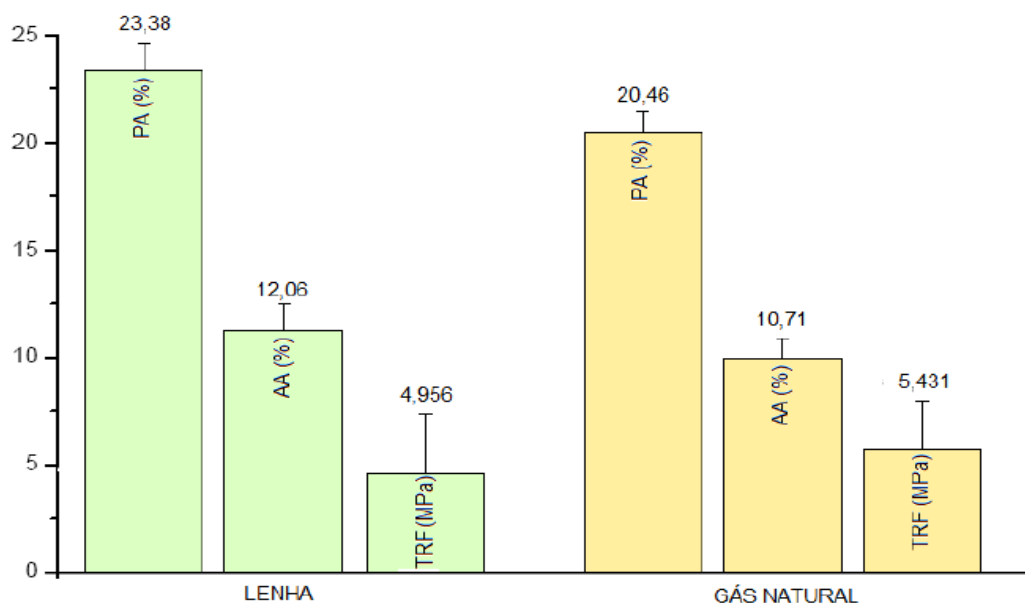
2.7.4 Combustíveis dos fornos

O tipo de combustível utilizado no processo de queima também influencia no produto final, já que existe uma diversidade de produtos usados como combustíveis com propriedades diferentes. Assim, “como a quantidade de combustível necessária é grande, pretende-se obter um maior rendimento, diminuindo a perda por irradiação” (VERÇOSA, DIAS;2013).

Cada região do país utiliza elementos que seja encontrado em maior abundância na região em que a indústria cerâmica está localizada. O segmento de cerâmica vermelha emprega como combustíveis, principalmente a lenha nativa (50%) e resíduos de madeira (40%): cavaco, serragem, briquetes e outros resíduos. Mas também pode ser utilizado, ainda que em menor escala, combustível como: resíduos de madeira não contaminados, óleo combustível apropriado, GLP – gás liquefeito de petróleo, casca de arroz, serragem e GN – gás natural. Contudo, há uma tendência ao aumento do uso de lenha de reflorestamento visando à sustentabilidade energética do empreendimento e levando a um excedente de biomassa para comercialização de madeira. (BANCO DO NORDESTE, 2010; NÓBREGA et al., 2016).

De acordo com Lopes (2006 apud ANDRADE, 2009), a maioria das indústrias cerâmicas utilizam a lenha como combustível na produção dos blocos cerâmicos, o que intensifica as perdas nos na produção. Sendo assim, uma alternativa para um maior controle de qualidade seria a substituição da lenha pelo gás natural, já que comprovou-se que o gás natural possui propriedades mais desejáveis em relação à lenha quanto à porosidade, absorção de água e resistência mecânica, como visto na figura 14.

Figura 12: Propriedades tecnológicas da queima com lenha e com gás natural

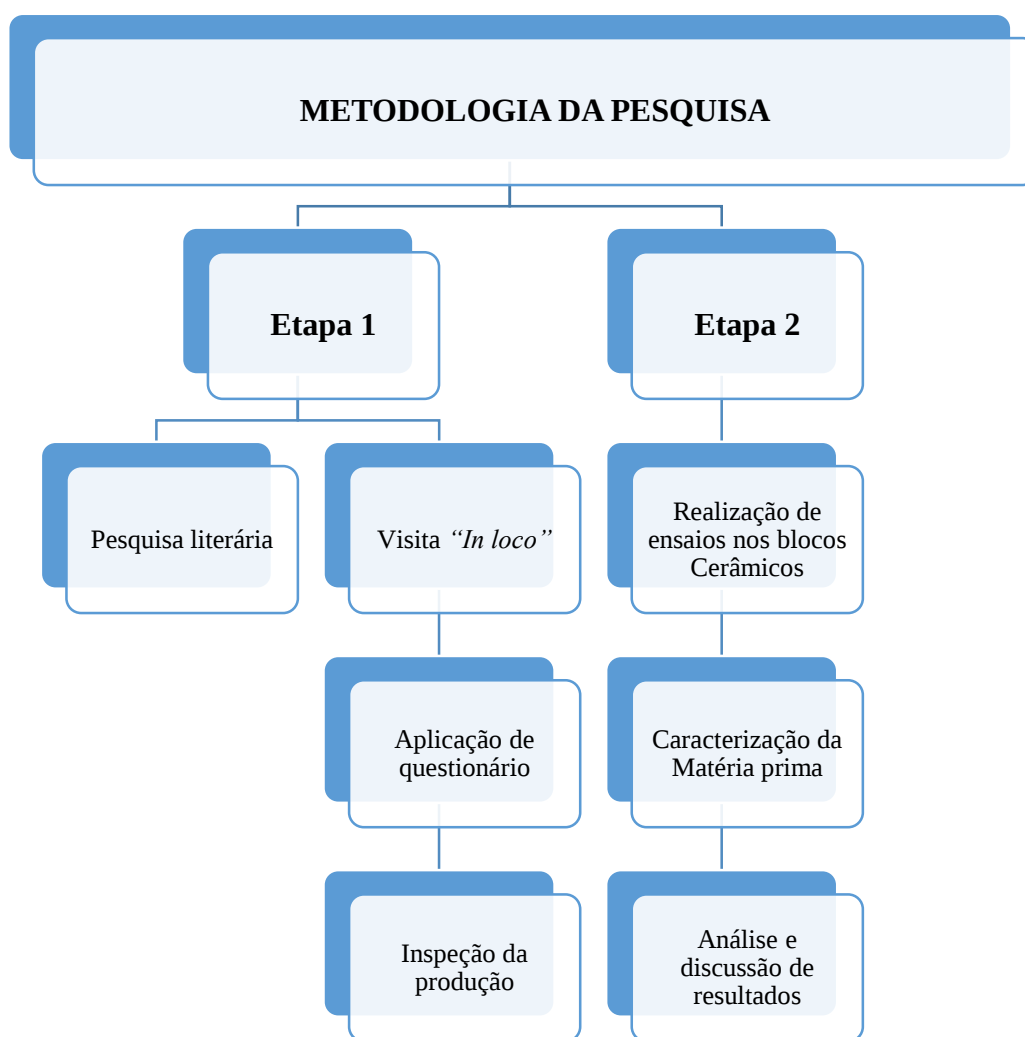


Fonte: Andrade, 2009

3. METODOLOGIA

Esse estudo baseou-se em analisar o processo produtivo de blocos cerâmicos, e buscou-se um controle de qualidade da fase pós queima da olaria são Francisco, localizada na cidade de São Francisco do Oeste/ RN. Para isso, o estudo foi dividido em duas etapas. Inicialmente é apresentado uma caracterização da indústria cerâmica em estudo, depois de visitas *in loco* para aplicações de questionários a fim de conhecer parâmetros acerca da produção da olaria e conhecer as maiores dificuldades encontradas que causam os maiores prejuízos nos produtos. Na segunda etapa é descrito os materiais e métodos realizados por meio de diferentes análises em amostras colhidas dos blocos produzidos pela indústria em estudo. Ainda nessa etapa, foi realizado ensaios nos tijolos, e posteriormente a discussão dos resultados obtidos ao longo do estudo. O fluxograma da pesquisa está representado na figura 15.

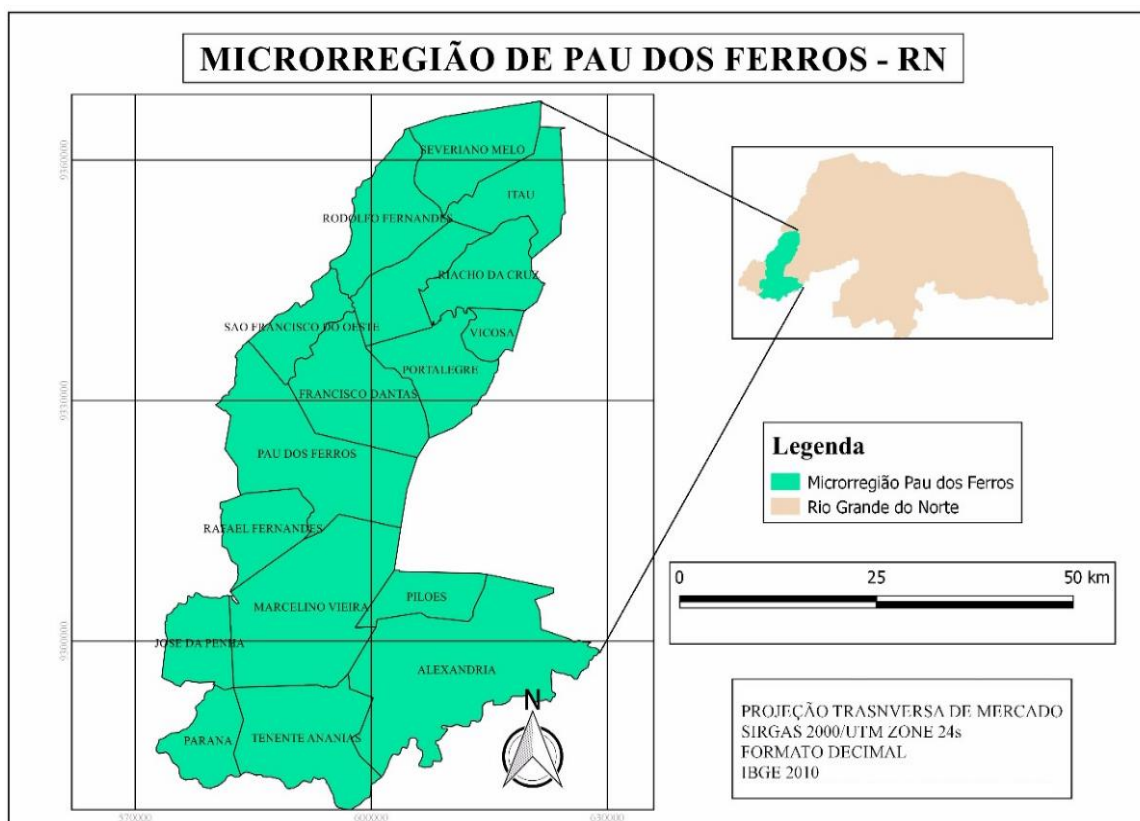
Figura 13: Metodologia da Pesquisa



3.1 ESPECIFICAÇÕES DO LOCAL DE ESTUDO

O município de São Francisco do Oeste/RN, está localizado na região do alto oeste potiguar, na microrregião de Pau dos Ferros (figura 16), distante cerca de 400 Km da capital Natal/RN. De acordo com dados do IBGE de 2016, a cidade possui cerca de 4.206 pessoas, e uma área territorial de 75.588 Km².

Figura 14: Microrregião de Pau dos Ferros

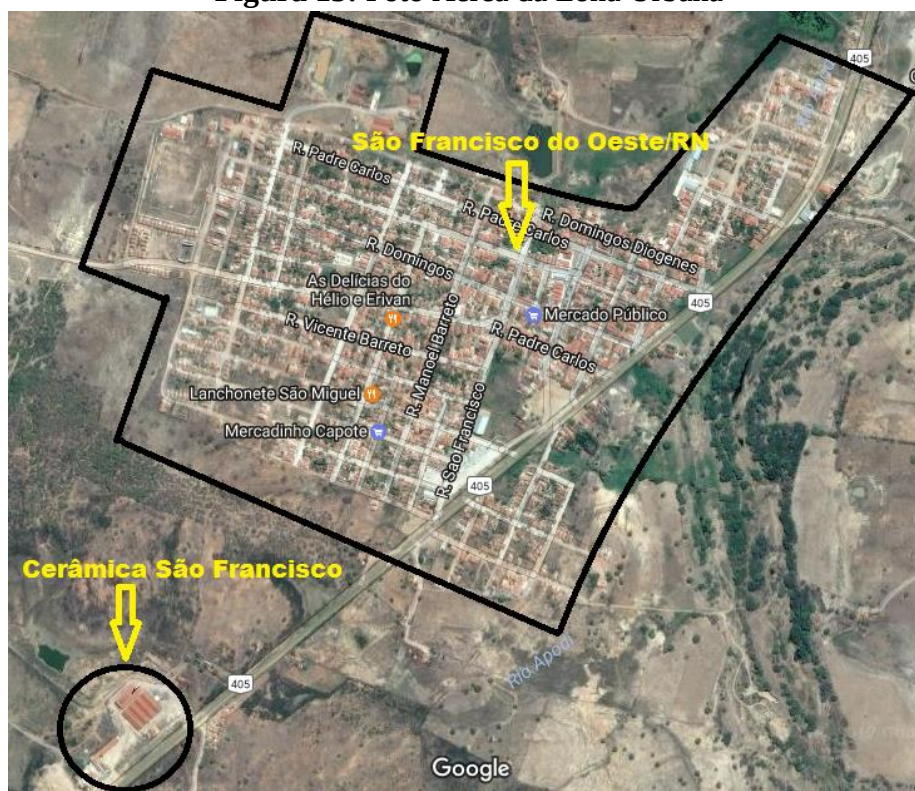


Fonte: Autor, 2017

A indústria cerâmica em estudo possui uma área em torno de 18.700 m². Essa cerâmica é responsável por abastecer com blocos cerâmicos de vedação todos os municípios da região que ela está inserida. Colocar dados da empresa: Ano de fundação. Funcionários. Importância da indústria para a cidade.

A indústria em estudo é localizada no início da zona urbana da cidade, como pode ser visto na figura 17.

Figura 15: Foto Aérea da Zona Urbana



Fonte: Google Earth, 2017. Adaptada

3.2 VISITAS “*IN LOCO*”

Depois de uma primeira visita *in loco*, pode-se conhecer a empresa bem como todo o processo produtivo, desde o preparo da massa, até o forno, e também a estocagem de tijolos desperdiçados. Em uma outra visita à indústria cerâmica, pode-se aplicar um questionário (apêndice) com questionamentos quantitativos e qualitativos, que visa investigar questões determinantes e precisas relacionadas ao controle de qualidade dos produtos, mais precisamente da etapa da queima, e saber a demanda. Além disso, esse questionário teve como função também elencar os maiores prejuízos encontrado nos produtos, pois se constatou uma grande quantidade de desperdícios ao longo de toda produção, e principalmente na queima dos blocos.

A demanda mensal de blocos cerâmicos produzidos e vendidos está sendo em torno de 180 milheiros de tijolos. De acordo com o proprietário, essa demanda é bastante fraca, quando comparada com meses atrases, em que a média comercializada era em torno de 400 milheiros por mês.

3.3 ENSAIOS FÍSICOS E GEOMÉTRICOS NOS BLOCOS CERÂMICOS

Vários ensaios foram realizados a fim de verificar parâmetros dos blocos cerâmicos. Para isso, foi realizado a metodologia da ABNT NBR 15270: 2005 em algumas análises, e em outras análises foi usada metodologia baseada em teses, a fim de conhecer propriedades dos tijolos em análises.

3.3.1 Parâmetros dos Blocos a serem comparados

A NBR 15270-3 define alguns procedimentos de ensaio nos blocos, que devem estar em conformidade. Essa caracterização tem a função de aceitação ou rejeição dos blocos cerâmicos, a depender da conformidade das amostras. Para analisar essa conformidade então, além de fazer uma inspeção visual, algumas características físicas e mecânicas devem ser observadas, e comparadas com a tabela 5.

Tabela 5: Características exigidas para blocos de vedação

ANÁLISE	CONFORMIDADE
Características visuais	Não apresentar quebras, superfícies irregulares ou deformações, e observar a variação de coloração.
Forma	Prisma Reto
Tolerância dimensional individual em relação à dimensão de sua especificação	$\pm 5\text{mm}$ (Largura, Altura e Comprimento)
Tolerância dimensional individual em relação à média	$\pm 3\text{mm}$ (Largura, Altura e Comprimento)
Espessuras das paredes internas	$\geq 6\text{mm}$
Espessura das paredes externas	$\geq 7\text{mm}$
Resistência a compressão	$\geq 1,5\text{Mpa}$ (Para furos na horizontal)
	$\geq 3,0\text{ Mpa}$ (Para furos na Vertical)
Índice de absorção de água (AA%)	$8\% \leq AA \leq 22\%$

Fonte: alterado de NBR15270

3.3.2 Análises geométricas e Inspeção visual

Em uma visita *in loco*, foi analisado uma inspeção geral em todo o estoque de blocos cerâmicos da indústria. Depois foi recolhido aleatoriamente uma amostra de 13 blocos dentre

um lote de aproximadamente 10 milheiros. Esse número de tijolos recolhidos para análise fez uso de acordo com recomendações da ABNT NBR 15270: 2005.

Depois de selecionar as amostras, deu-se a sequência de testes. Os testes foram realizados no laboratório da Universidade Federal Rural do Semi Árido – UFERSA, localizada na cidade de Pau dos Ferros- RN. Os detalhamentos das análises serão descritas à frente.

Inicialmente, com um pincel foi feito a identificação dos blocos. Após isso, realizou-se primeiro a inspeção visual, em que foi verificado a coloração dos blocos, e também se os mesmos apresentam defeitos sistemáticos, como quebras, ou deformações, e assim verificar se estão em conformidade para serem comercializados. Para essas análises, utilizou-se um paquímetro digital, da marca standard, em aço inox 300 mm, com sensibilidade de 0,05mm, conforme figura visto na figura 18.

Figura 16: Paquímetro



Fonte: Autor, 2017

Em uma bancada plana e indeformável do laboratório, foi analisada as características geométricas, as dimensões das arestas a fim de determinar também a área bruta dos blocos, e também foi determinada a espessura dos septos e das paredes externas, conforme visto na figura 19.

Figura 17: Ensaio medições geométricas



Fonte: Autor, 2017

3.3.3 Densidade

Após verificada as características geométrica dos blocos, foi calculada a massa de cada um deles, a fim de determinar a densidade da amostra. Em uma balança digital, da marca LD 1050, com precisão de três casas decimais, medida em quilogramas, foi colocado cada um dos 13 blocos, um de cada vez, e calculado a massa dos mesmos, como visto na figura 20.

Figura 18: Foto do bloco na balança



Fonte: Autor, 2017

3.3.4 Absorção de água e massa úmida

A absorção de água é outro índice físico importante a ser verificado para um controle de qualidade nos blocos cerâmicos, e devem seguir os parâmetros de ensaios da ABNT NBR 15270-3. Foi realizado o ensaio com quatro corpos de prova da amostra em análise. Os blocos escolhidos aleatoriamente para representar a amostra em questão foram os blocos 4, 5, 8 e 9. O índice de absorção de água de cada corpo-de-prova é determinado pela equação (1):

Equação 1: Absorção de Água

$$AA\% = \frac{M_u - M_s}{M_s} \cdot 100\%$$

Assim, para se determinar o índice de absorção de água, é necessário obter a massa seca (M_s) e a massa úmida (M_u) do material. Inicialmente, foram colocadas as amostras na estufa com circulação e renovação de ar SL – 102, vista na figura 21, à temperatura de aproximadamente 110°C, durante 24h a fim de se obter a massa seca dos tijolos.

Figura 19: Estufa

Fonte: Autor, 2017

Depois disso, retirou-se os blocos da estufa e esperou-se o bloco esfriar naturalmente à temperatura ambiente. Logo após do esfriamento cada um dos blocos foi colocado na balança da marca LD 1050, com precisão de três casas decimais, a fim de se obter a massa seca dos mesmos. Depois da determinação da massa seca (M_s), os corpos-de-prova foram colocados em um recipiente preenchido com água à temperatura ambiente, em volume suficiente para mantê-los totalmente imersos durante 24 h. Passada o período em que os blocos ficaram imersos, foi tirado o excesso de água, e após isso, foi pesada a massa na mesma balança digital da análise de densidade, e verificada a massa úmida (M_u) conforme visto na figura 22:

Figura 20: Massa úmida para absorção de água



Fonte: Autor, 2017

3.3.5 Compressão

Para essa análise, foi escolhido aleatoriamente 5 corpos de provas limpos e sem rebarbas. Inicialmente, foi realizado o capeamento com leve camada de cimento nos blocos escolhidos, em uma espessura menor que 3 mm, a fim de dar uniformidade de esforços durante o processo, nas duas fases destinada ao ensaio. Depois de assentada a massa cimento, ou argamassa, foi colocado o bloco na prensa elétrica digital da marca *solocap* que possui característica de carga variando de 0-2000 kN, em uma precisão de $\pm 1\%$, conforme visto na figura 23. O bloco foi colocado na mesma posição destinada ao assentamento, com os furos na horizontal, perpendicular ao comprimento (C). Depois disso, a máquina foi ligada e colocada a carga máxima do equipamento de 2000 kN para realizar a análise. Depois, determinou-se o valor em kN da carga necessária para deformar o corpo.

Figura 21: Prensa para medir a resistência à compressão



Fonte: Autor, 2017

3.3.6 Retração linear de queima

A análise de retração foi determinada a partir de na variação das dimensões geométricas (comprimento ou largura) dos blocos, baseado na metodologia de Dutra (2007). Assim, com um paquímetro digital foi realizada as medições das dimensões lineares dos tijolos ainda em estado seco (L_0), ou seja, que não passaram pelo processo de queima. Como as dimensões lineares dos blocos pós queimas (L_F) já são conhecidas, o próximo passo para obter a retração linear é substituir os valores verificados na equação (2):

Equação 2: Retração Linear

$$R\% = \frac{L_0 - L_F}{L_F}$$

Para essa análise, utilizou-se um o mesmo paquímetro utilizado para as demais análises, a fim de realizar as medições das dimensões de Largura (L), comprimento (C) e altura (H) dos blocos cerâmicos em processo de secagem, ou seja, que não foram queimados. Escolheu-se aleatoriamente 13 blocos cerâmicos em um estoque de aproximadamente 5000 tijolos que aguardavam passar pelo processo de queima. Como já se havia determinado as dimensões lineares dos blocos após a queima, o próximo passo para determinar a retração linear é substituir os valores na equação (2).

3.4 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA

A amostra de argila foi coletada nos depósitos de estocagem da matéria prima dos blocos cerâmicos, na indústria cerâmica em estudo. Após a coleta, a argila foi destorroada e homogeneizada. Depois disso, a amostra foi levada à um laboratório para análises de caracterização. As análises de caracterização química e mineralógica foram: fluorescência de raios X (FRX) e difração de raios X (DRX).

3.4.1 Fluorescência de raios-X (FRX)

Essa técnica é utilizada para determinar a concentração de vários elementos de modo instrumental. Para realizar a caracterização de determinado material, é preciso conhecer a composição química do mesmo, no caso em estudo, é preciso saber os elementos que compõem a argila. Sendo assim, a Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) é técnica bem estabelecida para análise elementar, e caracterização química quantitativa e qualitativa que compõem um determinado material.

A princípio, antes de proceder a análise, foi realizado o peneiramento da amostra em uma peneira inferior a 0,075 mm ou de malha #200, e seca em estufa durante 24 h, à uma temperatura de aproximadamente 110°C.

Na análise de FRX foi utilizado um espectrômetro por fluorescência de raios X (EDX - 700, *Shimadzu*) em uma atmosfera a vácuo, empregando-se o método Semi quantitativo para determinação dos elementos presentes na amostra. Os resultados foram obtidos em elementos puros, contudo sabe-se que existe óxidos em suas composições químicas.

3.4.2 Difração de Raio X- DRX

A composição mineralógica da fração argilosa é de grande importância para o estudo de propriedades tecnológicas, principalmente quando se deseja otimizar o controle de qualidade nos produtos cerâmicos.

Dentre as várias técnicas de caracterização de materiais cerâmicos, “a técnica de difração de raio X (DRX) é a mais utilizada quando se deseja determinar as fases cristalinas e obter informações sobre a estrutura, composição e estado de materiais policristalinos” (MOLIN p. 413). Segundo Andrade (2009), o estudo da composição mineralógica é de fundamental importância no entendimento das propriedades tecnológicas dos produtos de base argilosa, já que em argilas, a grande quantidade de quartzo e seu elevado grau de orientação dificultam a identificação e caracterização das demais fases presentes.

A caracterização da argila por meio da difração de raio X foi realizada em aparelho difratômetro de raio X (XRD 6000, *shimadzu*) com fonte de radiação Cu- $K\alpha$ em uma tensão de 40 kV e corrente de 30 mA. O equipamento tem característica de fenda de divergência de 1.0 (deg) e fenda de dispersão igual a 1.0 (deg), e ainda fenda receptora = 0,30 (mm). O DRX padrão foi registrado entre 5 e 80°, em um ângulo de rotação de 2θ em uma varredura contínua. A velocidade de varredura foi de 5(deg/min), com um passo de 0,2°, Foram obtidos 3751 dados.

Após finalizada a análise do DRX, os dados obtido permitiram gerar resultados que foram analisados no software x'pert highscore plus a fim de identificar as fases cristalográficas presentes na amostra, a partir de comparações entre os picos gerados e as composições mineralógicas observadas pelo software.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 QUESTIONÁRIO

A partir dos dados obtidos no questionário (APÊNDICE), foi possível perceber que não há nenhum controle de temperatura do forno, onde ocorre o processo de queima. Desse modo, constatou-se que a empresa não possui métodos de controle de qualidade ao longo de toda a linha de produção, especificamente na etapa da queima já que é a fase que acarreta mais prejuízos aos blocos cerâmicos. Após cada lote queimado, à medida que retira os blocos do forno, os funcionários faziam a separação apenas observando entre os blocos que possuem bom estado, cuja as propriedades foram conservadas, e àqueles que possuem deformações ou defeitos. De acordo com os responsáveis pelo processo de queima, os maiores prejuízos são devidos a estética, principalmente a coloração escura e as contrações nos blocos. Devido à essa variação de temperatura em diferentes partes do forno, observou-se que os maiores índices de coloração escura foram vistos nos blocos localizados nas partes centrais do forno, provavelmente devido à maior sensação térmica nessa região do forno.

Além disso, as propagações de trincas externas e quebras que também é um dos problemas que mais causam desperdícios, tornando o produto inviabilizado de ser comercializado para ser utilizado como blocos de vedação, intensificando os prejuízos financeiros.

Verificou-se a não uniformidade no processo de queima dos materiais, já que os blocos centrais estavam mais queimados, apresentando uma coloração mais escuras em relação aos tijolos das extremidades do forno, possivelmente relacionado com a temperatura central do forno ser mais elevada, como visto na figura 24.

Figura 22: Pós queima



Fonte: Autor, 2017

Durante a visita, visualizou-se vários locais de desperdício após o processo de queima, como visto na figura 25 e figura 26. Assim, os blocos com defeitos, ficam armazenados em um local na indústria, e posteriormente podem ser utilizados como aterro, ou mesmo em sapata de casa, vendido a um preço abaixo dos que possuem propriedades intactas. Verificou-se uma elevada quantidade de desperdício, mesmo não se sabendo o número exato, pois a empresa ainda não realizou métodos a fim de verificar o quanto ela perde em material e, conseqüentemente, financeiramente. Constatou-se também que a empresa nunca realizou o reaproveitamento dos blocos defeituosos em seu processo de produção.

Figura 23: Depósito de tijolos danificados



Fonte: Autor, 2017

Figura 24: Blocos danificados após a queima



Fonte: Autor, 2017

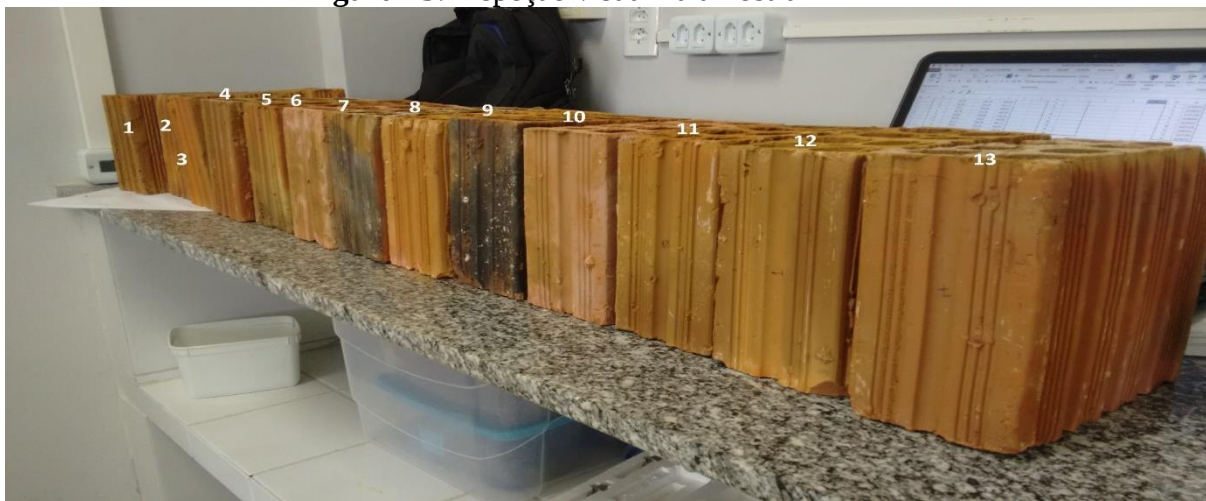
Além disso, um outro problema encontrado foi a queima incompleta dos blocos, principalmente os localizados nas extremidades do forno, quando isso acontece, o bloco continua no forno, onde será novamente queimado. Diante disso, fica evidente a importância de um controle de qualidade durante a etapa de queima, a fim de diminuir os prejuízos listados.

Verificou-se que só existe um único forno, e esse suporta 50 mil tijolos para serem queimados ao mesmo tempo. A queima normalmente é feita uma vez por semana, e dura cerca de 24 h a 36 h. Em relação ao combustível utilizado, sabe-se que a madeira é cajueiro, extraída na cidade de Rodolfo Fernandes/RN.

4.2 INSPEÇÃO VISUAL

A inspeção visual permitiu observar uma vasta variação na coloração dos blocos, alguns mais escuros, possivelmente causados por grande quantidade de matéria orgânica, ou também por terem sido mais queimados do que outros. Foi verificado também blocos com uma tonalidade bem avermelhada, que se dá pela grande quantidade de óxidos de ferro na argila, como visto nos resultados da análise de FRX. Porém, essa variação na coloração, observando alguns tijolos com colorações mais claras que outros (Figura 27), pode ser caracterizada também como tendo sido proveniente de uma queima incompleta. Isso deve-se principalmente por a queima não ser uniforme ao longo da produção, e alguns blocos ficarem passíveis a temperaturas mais altas do que outros. Além da coloração, foi visto também uma pequena desconformidade quanto à forma dos blocos, devido a pequenas fissuras nas partes externas e ligeiras deformações nas arestas, causados por um descontrole durante a queima, que contribui mais intensamente para esses efeitos.

Figura 25: Inspeção visual na amostra



4.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, MECÂNICA, QUÍMICA E MINERALÓGICA

4.3.1 Medidas das faces

Os dados da análise das medidas das arestas podem ser observados na tabela 6. Todo esse procedimento, bem como os parâmetros para os resultados é conforme a NBR 15270:2005, como citado na metodologia no item 6.2.2 e que consta no ANEXO.

Tabela 6: Medidas das faces

Bloco	L (mm)	H (mm)	C (mm)
1	92,72	193,24	179,42
2	92,92	193,90	179,89
3	93,00	193,06	179,84
4	89,89	191,91	178,05
5	91,51	191,16	183,84
6	92,42	192,14	181,37
7	92,90	193,04	182,66
8	90,78	191,06	180,98
9	90,09	194,09	178,98
10	92,18	193,80	180,88
11	92,22	194,34	181,17
12	93,32	193,03	186,07
13	90,69	190,03	178,54
MÉDIA	91,90	192,68	180,90

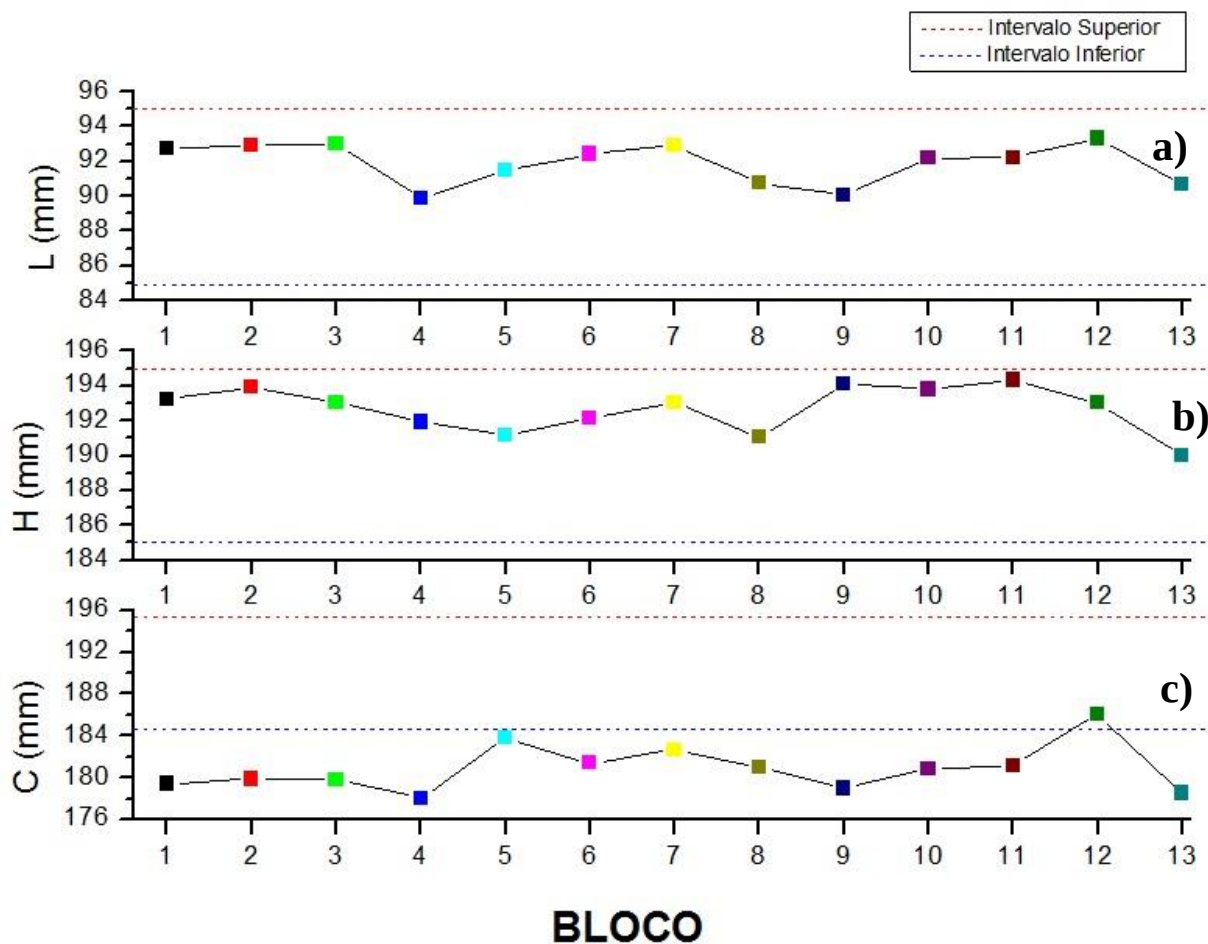
Fonte: Autor, 2017

A norma estabelece que os valores individuais da largura (L), altura (H), e comprimento (C), das amostras em estudo, possuem a tolerância de ± 5 mm, em relação à dimensão efetiva, conforme visto na tabela 6. Assim, de acordo com essa divisão percebe-se que os blocos em estudos caracterizam-se como sendo do tipo (1) M x (2) M x (2) M, ou seja, devem possuir valores de referência igual a L= 90 mm; H = 190 mm; C = 190 mm. Sendo assim, com os dados da tabela 6 verifica-se que em relação aos valores individuais da Largura (L), altura (h) e comprimento (C) a norma exige que variem em até ± 5 mm.

Assim, para a largura (L), o valor do bloco deve estar entre 8,5 e 9,5mm, o que verifica-se essa exigência a partir dos valores da tabela 6, e pelo gráfico da figura 28 (a). Para os valores da altura (H), as amostras devem ter valores individuais entre 185 e 195 mm, e observa-se que os 13 corpos de provas estão nas exigências, visto pela figura 28 (b). Já para o valor do comprimento (C), os valores deve estar entre 185 e 195 mm, contudo, apenas o bloco 12 está

dentre desse intervalo, fazendo com que os demais corpos em análises não se configurem dentre do permitido pela norma, conforme visto na figura 28 (c).

Figura 26: (a) Dispersão das dimensões lineares da largura (L), (b) Dispersão das dimensões lineares da altura (H), (c) Dispersão das dimensões lineares do comprimento (C)



Fonte: Autor, 2017

Ainda acerca das dimensões geométricas dos blocos, a norma exige que a média das dimensões da amostra analisada variem em até ± 3 mm dos valores efetivos, conforme visto no anexo I e na tabela 6. Sendo assim, a partir das médias calculadas, percebe-se que a média do comprimento (C) não está dentro do intervalo de variação aceitável, conforme visto no gráfico da figura 26, já que houve uma variação maior do que o valor de referência.

Essa variação nas dimensões da amostra é evidenciada principalmente por não haver um controle de qualidade no processo de queima, que faz com que expansões e contrações aconteçam de maneira não uniforme nos blocos.

4.3.2 Área Bruta

A área bruta, de acordo com a NBR 15270 (ABNT, 2005), é a relação $L \times C$. Assim, as áreas brutas de cada bloco pode ser observado na tabela 7:

Tabela 7: Área Bruta dos blocos em estudo

BLOCO	ÁREA BRUTA (cm ²)
1	166,36
2	167,15
3	167,25
4	160,05
5	168,23
6	167,62
7	169,69
8	164,29
9	161,24
10	166,74
11	167,07
12	173,64
13	161,92
MÉDIA	166,25

Fonte: Autor, 2017

A médias das áreas foi 166,25 cm², como pode ser visto na tabela acima. O desvio padrão da área da amostra foi de 3,66 cm². O coeficiente de variação das áreas da amostra foi de 2,20%, que representa as proporções de quanto a área dos blocos variou, que relaciona a variação através do desvio padrão expresso como porcentagem da média.

4.3.3 Espessuras dos Septos e Paredes Externas

Além da geometria das faces dos blocos, pode-se verificar também se as espessuras dos septos e das paredes externas estão em acordo com o permitido, baseado pela norma de blocos cerâmicos (NBR 15270:2005). Os dados coletados estão contidos na tabela 8:

Tabela 8: Septos e paredes externas

Bloco	Septos internos (mm)	Parede externa (mm)
1	11,81	12,06
2	11,19	12,76
3	11,04	13,90
4	12,04	13,15
5	10,31	11,60

6	11,15	12,20
7	11,99	12,72
8	10,80	11,98
9	10,83	10,25
10	9,27	11,33
11	10,93	12,02
12	10,6	12,82
13	9,25	9,81

Fonte: Autor, 2017

De acordo com a norma NBR 15270 (ABNT,2005), a espessura dos septos devem ser de no mínimo 6 mm. Enquanto que as paredes externas devem ter pelo menos 7 mm de espessura. Conforme os dados coletados, verifica-se que todos os blocos estão dentro do permitido, tanto para os septos, como para as paredes externas. Semelhantemente das medidas geométricas das arestas, percebeu-se uma variação nos valores das espessuras dos septos e das paredes externas, devido às ligeiras deformações ocasionadas no processo de queima.

4.3.4 Densidade

Foi analisada também a densidade dos blocos, a fim de verificar a variação de massa e volume após o processo de queima. Na tabela 9, consta os dados da densidade específica dos blocos.

Ao analisar os valores obtidos, percebeu-se que a variação da massa no volume dos blocos é considerável, em se tratando de uma amostra que teoricamente passaram pelas mesmas condições de queima. Observa-se ainda que os blocos que possuem maior densidade, foram àqueles que tiveram coloração mais escura, provavelmente devido terem sofrido uma queima mais intensa, pois sofreram maior sensação térmica, por consequência da queima não uniforme no interior dos fornos. Percebe-se, contudo, que a variação de volume ao longo das amostras, não necessariamente segue a mesma variação da massa, podendo constatar em algumas amostras que a massa cresce quanto mais o bloco se contrai.

Tabela 9: Densidade específica dos blocos

BLOCO	VOLUME (cm ³)	MASSA (g)	DENSIDADE (g/cm ³)
1	3214,70	2986	0,9385
2	3241,11	2968	0,9157
3	3228,95	3003	0,9300
4	3071,50	3013	0,9809
5	3215,92	3037	0,9443

6	3220,69	2945	0,9143
7	3275,71	2983	0,9106
8	3138,99	2990	0,9525
9	3129,56	2961	0,9461
10	3231,32	2982	0,9228
11	3246,93	2980	0,9177
12	3351,78	3017	0,9001
13	3076,92	2935	0,9538
MÉDIA	3203,391	2984,615	0,931705

Fonte: Autor, 2017

4.3.5 Absorção de Água

A tabela 10 mostra os resultados de massa seca (M_s), massa úmida (M_u) e da absorção de água de cada um dos quatro corpos que foram analisados.

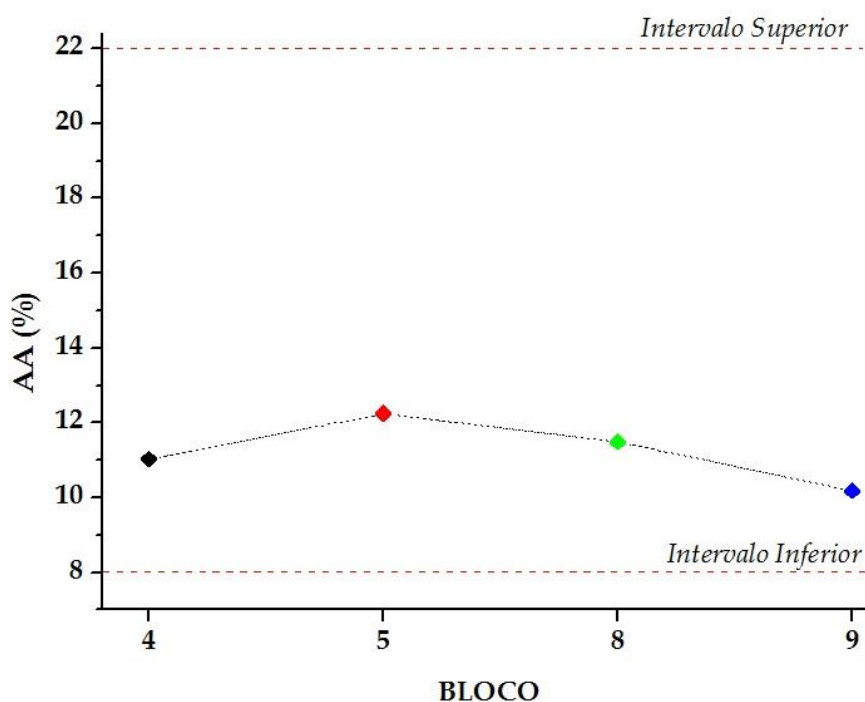
De acordo com a NBR 15207-1, o índice de absorção de água não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%. Sendo assim, conforme a tabela 10 da figura 28, percebe-se que todos os blocos estão dentro do intervalo aceitável, com um desvio padrão de 0,008% com um coeficiente de variação em torno de 7,68%.

Tabela 10: Absorção de água

BLOCO	Ms (g)	Mu (g)	AA%
4	2958	3284	11,02%
5	2997	3364	12,24%
8	2941	3279	11,49%
9	2928	3260	10,18%
MÉDIA	-	-	11,23%
DESV. PADRÃO	-	-	0,008%
COEF. VARIAÇÃO	-	-	7,68%.

Fonte: Autor, 2017

De acordo com o gráfico da figura 31, percebe-se que todas as amostras analisadas estão dentro do intervalo exigido pela norma. Como a variação em relação à média das amostras analisadas foi pequena, certamente as demais amostras também se enquadram nos requisitos permitido de aceitação.

Figura 27: Gráfico Absorção de Água

Fonte: Autor, 2017

4.3.6 Resistência à Compressão

A tabela 11 mostra os valores da tensão de compressão, e da área da seção transversal de assentamento. A área da seção foi calculada a partir dos valores das tabelas 6 e 8. A tensão máxima de compressão foi calculada a partir do valor da força máxima aplicada ao bloco antes de sua ruptura, dividido pela seção transversal do bloco.

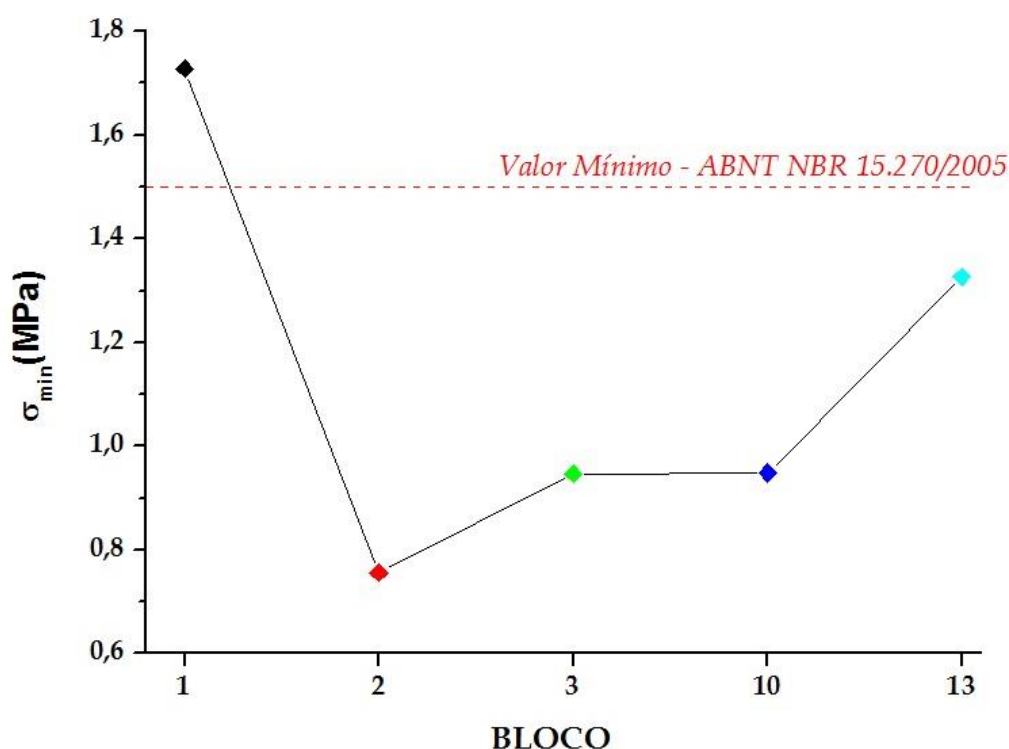
Percebe-se que dos resultados obtidos, apenas 1 bloco se apresentou dentro da conformidade dos parâmetros estabelecidos pela norma, que é de no mínimo 1,51Mpa, como visto na figura 32.

Tabela 11: Resistência à Compressão

Bloco	F(KN)	Área(mm ²)	σ (MPa)
1	12	6943,11	1,7283
2	5,38	7118,07	0,7558
3	7,1	7498,45	0,9468
10	5,87	6188,034	0,9486
13	7,28	5486,166	1,3269

Fonte: Autor. 2017

Figura 28: Resistência à Compressão



Fonte: Autor, 2017

4.3.7 Retração linear de queima

A tabela 12 mostra os valores das dimensões lineares dos blocos antes de ser queimados. Diante desses resultados, admitindo-se que os blocos foram escolhidos aleatoriamente, percebe-se que as amostras que se comportaram com retração linear positiva, ou negativa. A retração linear positiva significa que as amostras comprimiram, enquanto que os blocos com retrações lineares negativa significa, em uma de suas faces ou mesmo nas três dimensões analisadas, o tijolo se expandiu como é visto em quase sua totalidade dos resultados obtidos.

Tabela 12: Dimensões lineares dos blocos antes da queima

BLOCO	L (mm)	H (mm)	C (mm)
1	89,11	191,14	179,01
2	89,48	192,64	184,74
3	90,21	191,36	179,53
4	89,11	195,74	179,19
5	89,62	192,53	178,96
6	90,1	190,3	181,05
7	90,97	192,32	178,35
8	89,77	192,11	182,84
9	92,42	190,5	182,90
10	89,21	191,72	180,51
11	89,65	191,35	179,33

12	91,16	193,59	183,35
13	91,94	194,85	181,22
MÉDIA	90,21	192,32	180,84

Fonte: Autor, 2017

A tabela 13 mostra os resultados da tração linear da queima dos blocos estudados.

Tabela 13: Valores de Retração Linear

BLOCO	R L%	R H%	R C%
1	-3,89	-1,09	-0,23
2	-3,70	-0,65	2,70
3	-3,00	-0,88	-0,17
4	-0,87	2,00	0,64
5	-2,07	0,72	-2,65
6	-2,51	-0,96	-0,18
7	-2,08	-0,37	-2,36
8	-1,11	0,55	1,03
9	2,59	-1,85	2,19
10	-3,22	-1,07	-0,20
11	-2,79	-1,54	-1,02
12	-2,31	0,29	-1,46
13	1,38	2,54	1,50

Fonte: Autor, 2017

Verifica-se que houve uma divergência de contração e retração nos mesmo blocos. Somente os blocos 1,3,6,7,10 e 11 tiveram todas as dimensões lineares das faces alongadas. E foi apenas o bloco 13 que teve retração uniforme. Os demais blocos tiveram variações na própria estrutura, retraindo em determinadas direções, contraindo em outras.

4.3.8 Fluorescência Raios X- FRX

A partir dos dados da tabela 14, observa-se que o teor de Ferro, silicato e alumínio destacam-se como os maiores teores presentes na argila. O teor de ferro (Fe) é responsável para a coloração alaranjada nos produtos após a queima, e também diminuir a plasticidade das argilas. Assim, a elevada taxa de ferro na composição justifica a coloração bastante alaranjada nos tijolos em estudo verificada na etapa de inspeção.

Tabela 14: Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX)

ELEMENTO	PORCENTAGEM
Fe	38,089 %
Si	28,989 %
Al	14,868 %
K	7,158 %
Ca	2,242 %
Ti	2,047 %
Zr	1,984 %
Ba	1,218 %
Sr	1,216 %
Mg	0,972 %
Rb	0,551 %
Mn	0,362 %
Zn	0,108 %
Y	0,107 %
Cr	0,087 %

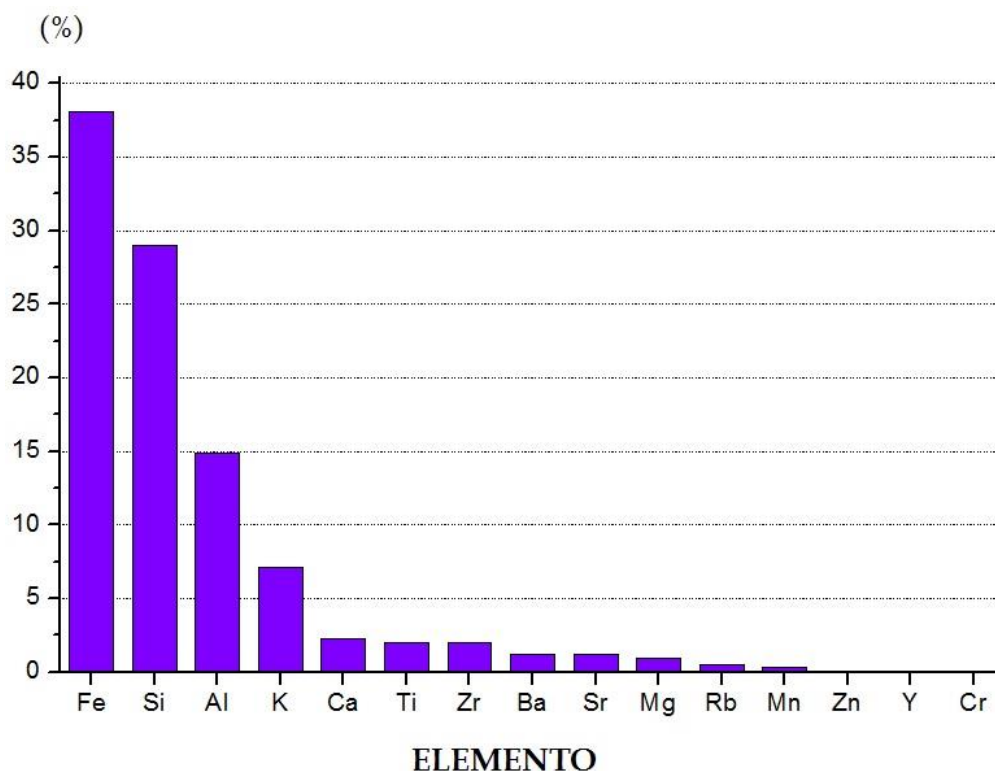
Fonte: Autor, 2017

A alumina (Al_2O_3) além de contribuir para uma coloração avermelhada, permite haver maior estabilidade em altas temperaturas. A sílica age para diminuir a temperatura de fusão dos materiais cerâmicos e diminuir a diferença de coloração em um mesmo bloco cerâmico (KAZMIERCZAK, 2007). De acordo com Verçosa e Dias (2013), devido à grande quantidade de alumina, as argilas são mais plásticas e tendem a deformam-se bem mais durante o cozimento. Diante disso, verifica-se que um dos

Os carbonatos de cálcio (CaCO_3), apesar de se apresentar em pequena quantidade, tem como principais propriedades a expansão volumétrica dos tijolos, e ajuda a fundir os blocos cerâmicos, juntamente com os óxidos de magnésio que apresentou baixo teor, caracterizando menos de 1% da composição (KAZMIERCZAK, 2007). O potássio (K), que possui um teor considerável na argila estudada, é muito presente na illita, um dos principais argilominerais. Além disso, o óxido de potássio contribui para diminuir a temperatura da formação da fase líquida, tornando e indica que possui, assim como os óxidos de cálcio e magnésio, que se encontram em menor quantidade na argila estuda (DUTRA, 2007).

A figura 33 mostra o resultado através de um gráfico de barras para melhor visualização da distribuição dos elementos químicos presentes na argila através do teor, em porcentagem.

Figura 29: Composições químicas obtidas pelo pela análise de FRX



Fonte: Autor, 2017

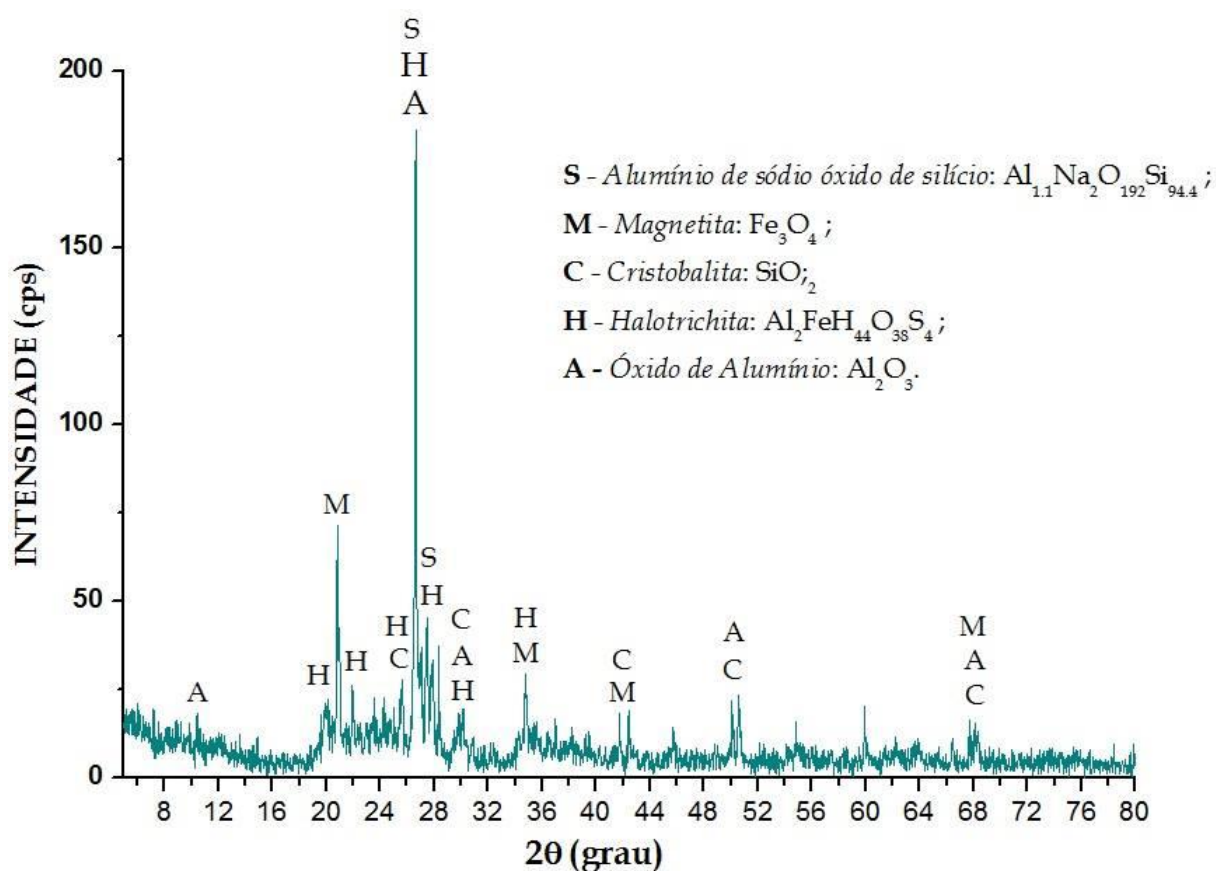
4.3.9 Difratometria de Raios X - DRX

A figura 34 apresenta as fases cristalinas da matéria prima dos blocos analisados. A partir desse resultado, que o alumínio está presente em quase todas as fases cristalográficas, seja na forma de óxidos (Al_2O_3), ou mesmo presente em outras composições dos minerais encontrados. Isso é justificado devido à grande quantidade de alumínio encontrado na análise química de FRX. Os óxidos de sílicas podem ser encontrados na forma de cristobalita (SiO_2), como é encontrado em várias fases cristalográficas da argila em estudo. Além dessa forma cristalina, a sílica também pode ser verificada na forma de quartzo, que foi encontrado na maior fase cristalina, em torno dos 27 °. Contudo, apesar do quartzo ser composto basicamente de óxido de silício, observa-se que pode haver impurezas tais como sódio e alumínio, como é visto na composição química do maior pico cristalográfico da figura 34.

A grande presença de quartzo na argila pode contribuir pode acarretar prejuízos ao longo do processo produtivo dos blocos cerâmicos. Pensando nisso, durante a preparação da

massa cerâmica o elevado teor de quartzo tendo a diminuir a plasticidade. Além disso, durante o processo de queima, as matérias primas com altos teores de quartzos favorecem à dilatação da peça (DUTRA; 2007). O mineral magnetite (Fe_3O_4) também foi verificada em várias fases cristalinas, devido ao elevado teor de ferro que a massa cerâmica possui, como visto a partir das análises química. A principal função da magnetite é favorecer a coloração avermelhada nos blocos cerâmico.

Figura 30: Difração de Raio X da matéria prima



Fonte: Autor, 2017

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As técnicas utilizadas neste trabalho foram eficientes, fazendo com que os objetivos iniciais fossem alcançados. Ao longo da inspeção na linha de produção, conclui-se que não uniformidade do produto final, que foi confirmada através dos resultados das análises de controle de qualidade que foram realizadas. Os resultados evidenciaram que não há controle a fim de otimizar a qualidade dos produtos, justificando, assim, os vários prejuízos encontrados após a etapa de queima.

Ao realizar a conformidade dos blocos com relação à norma ABNT NBR 15207: 2005, detectou-se que de todos os métodos de ensaios realizados, a dimensão linear do comprimento (C) e a resistência à compressão não se enquadram, de modo geral, nos parâmetros exigidos da norma regulamentadora. Os resultados mostraram que as características geométricas bem como a massa dos blocos, variam não necessariamente na mesma proporção ao longo da etapa de queima, a depender da temperatura que estão submetidos, isso só confirma a necessidade do controle de qualidade no processo produtivo.

As fissuras e a coloração não uniforme, observada a partir da variação na coloração das estruturas dos blocos analisados, tais como o aparecimento de coração negro, conclui-se que a matéria prima possui grandes teores de matérias orgânica, óxido de silício e óxidos de ferro na sua composição, conforme Dutra (2007) retrata em sua tese. Esses elementos foram confirmados através da análise de FRX. Devido a isso, aconselha-se incrementar na massa argilosa elementos para tornam a argila menos plástica, a fim de diminuir os defeitos de trincas e não uniformidade na coloração.

A coloração não uniforme e o aparecimento de ligeiras fissuras não influenciaram de modo significativo nas propriedades físicas. As análises físicas foram bastante precisas para extrair diversas conclusões acerca dos blocos no estado de pós queima. É dito isso ao verificar as variações nos valores de retração nas três faces de comprimento (C), largura (L) e na altura (H), em que determinados blocos durante o aquecimento tiveram retração apenas em uma das faces, enquanto que as outras faces sofreram expansão. Isso se configurou em quase todas as amostras verificadas, com exceção apenas do bloco 13, que teve retração em todas as faces. Em relação a absorção, verifica-se que não teve grandes variações, ficando em torno de uma média de 11,23%, o que é permitido pela norma usada como parâmetros.

Em se tratando da determinação química e mineralógica, a fim de entender variações na estrutura dos blocos cerâmicos. A análise química permitiu caracterizar a argila como plástica devido ao elevado teor de alumínio e ferro, porém, ela é bastante porosa devido à grande

quantidade de silício em sua composição. A composição mineralógica identificada através do DRX também permitiu caracterizar as principais composições de minerais presentes na estrutura do bloco cerâmico. Verificou-se que a grande quantidade de alumínio na composição química da argila, foi justificada por suas fases cristalinas. A estrutura apresentou-se com teores consideráveis de cristais de quartzo e de alumina, que favorecem o aparecimento de defeitos em sua estrutura ao longo da produção, como foi identificado através das análises.

SUGESTÕES PARA TABALHOS FUTUROS

- Realizar análises térmicas na matéria prima estudada, a fim de verificar às variações de temperatura e perda de massa ao longo da queima, e determinar qual a temperatura ideal, que o bloco sofrerá menor perdas em sua estrutura;
- Realizar novas formulações em matriz de compactação a partir do incremento dos resíduos sólidos nas proporções de 2,5% e 5,0%, desperdiçados pela própria indústria cerâmica;
- Realizar a queima das matrizes de compactação em diferentes parâmetros de temperaturas controladas em laboratório, a partir dos resultados das análises térmicas;
- Realizar novos ensaios tecnológicos, físicos, mecânicos além de novas caracterizações químicas e microestrutural nas novas formulações, e realizar novas análises térmicas obtendo novas curvas de queima;
- Fazer os comparativos com os dados obtidos nesse presente estudo com os resultados nas novas formulações a fim se obter um melhor controle de qualidade no processo de queima.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 15270: Componentes Cerâmicos - Parte 1: Blocos Cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 15270: Componentes cerâmicos - Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2005.

ACCHAR, Wilson. **Materiais cerâmicos: caracterização e aplicações**. Natal, RN: EDUFRN –Editora da UFRN, 2006. 116 p.

ANDRADE, Felipe Lira Formiga. **Estudo da Formulação da massa cerâmica provenientes da região do Seridó-RN para fabricação de telhas**. 2009. 101 f. Dissertação de metrado UFRN (Pós graduação Engenharia Mecânica). 2009. P 100. Natal/ RN

ANFACER - História da Cerâmica. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/historia-ceramica>>. Acesso em: 25 Jan. 2017

ANICER. **A cerâmica Vermelha do Brasil**. 2014. Disponível em: <http://portal.anicer.com.br/wp-content/uploads/2014/08/Release_Setor.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2017.

ABC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Disponível em: <<http://abceram.org.br/consideracoes-gerais/>>. Acesso em: 25 jan. 2017.

BACCELLI JÚNIOR, Gilberto. **Avaliação do processo industrial da cerâmica vermelha na região do Seridó-RN**. 2010. 541 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/rn, 2010.

BANCO DO NORDESTE S/A. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE. Informe Setorial Cerâmica – Outubro/2010.

Batista, V.; Nascimento, J.; de Lima, A.. 6. Secagem e queima de tijolos cerâmicos maciços e vazados incluindo variações dimensionais e danos estruturais. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, América do Sul, 3 20 05 2008.

COUTINHO, N. C.; VIEIRA, C. M. F.. Caracterização e incorporação de cinza de resíduo sólido urbano em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo , v. 62, n. 363, p. 249-255, set. 2016.

DUTRA, R. P. S. et al . Estudo comparativo da queima rápida com a queima tradicional nas propriedades de materiais cerâmicos de base argilosa. **Cerâmica**, São Paulo , v. 55, n. 333, p. 100-105, Mar. 2009 .

DUTRA, Ricardo Peixoto Suassuna. **Efeito da velocidade de aquecimento nas propriedades de produtos da cerâmica estrutural**. 2007. 138 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/rn, 2007.

FIEMG, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. **Guia Técnico Ambiental da Indústria da Cerâmica Vermelha**. Belo Horizonte/MG, 2013.

Galdino, Jesé Nildo – **Influência de Teor e da Granulometria da Calcita e da Temperatura de Sintetização no Desenvolvimento de Massa Cerâmica Para Revestimento Poroso**. Tese de Doutorado, UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Natal/ RN. 2010

GALDINO, José Nildo. Et. al., **Diagnóstico da Industria Cerâmica Vermelha do Rio Grande do Norte**. SEBRAE, SENAI, PETROBRÁS CTGAS – ER, 2012.

IONASHIRO, M.A.; GIOLITO, I. Nomenclatura, padrões e apresentação dos resultados em análise térmica. **Cerâmica**, São Paulo, v.26, n.121, p.17-24, 1980.

IONASHIRO, M. **Fundamentos de Termogravimetria e Análise térmica Diferencial/Calorimetria Exploratória Diferencial**. 1. ed. São Paulo: Giz, 2005, 80p.

KAZMIERCZAK, Claudio de Souza. Produto de Cerâmica Vermelha. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007. p. 563-585.

MOLIN, Denise Carpena Coitinho dal. Técnicas Experimentais para Estudo da Microestrutura. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007. p. 401-436.

MONTEIRO, Flánelson Maciel. **Estudo das Propriedades Mineralógicas e Tecnológicas de Argilas da Região do Agreste Potiguar Para Produção de Cerâmica Estrutural**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/rn, 2012.

NASCIMENTO, W. S. A.; **Avaliação dos Impactos Ambientais Gerados por uma Indústria Cerâmica Típica da Região do Seridó**. 2007. 185 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007

NÓBREGA, Marcelo de Jesus Rodrigues da et al. O PROCESSO DE PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA CERÂMICA. **Revista da Gama e Souza**, Rio de Janeiro, v. 01, n. 01, p.1-8, jun. 2016.

PAVANATI, Henrique Cezar. **Ciência e tecnologia dos materiais**. São Paulo - SP: Pearson, 2015. 184 p.

PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F.. Efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânicas de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo , v. 56, n. 339, p. 237-243, July 2010 . Available from

PRADICELLI, S.; MELHICIADES, FÁBIO GOMES. **Importância da composição Granulométrica de massas para a cerâmica vermelha**. Cerâmica Industrial, São Paulo, v. 2, n 1/2, 1997.

ROSSA, Aline. **CERÂMICA O OLHAR DA CRIAÇÃO: ARTE COMO TENDÊNCIA**. 2009. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Artes Visuais, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma, 2009.

SALEIRO, G. T.; HOLANDA, J. N. F.. Processing of red ceramic using a fast-firing cycle. **Cerâmica**, São Paulo, v. 58, n. 347, p. 393-399, Sept. 2012.

SANTOS, C.V., CHAGAS, A.A.P, CASTRAL JR, J. Estudo da influência da proporção dos argilominerais illita/kaolinita nas propriedades físicas de argilas da região de Santa Gertrudes – SP. Anais do 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Florianópolis, Santa Catarina (1999).

SEBRAE. **CERÂMICA VERMELHA: Panorama do mercado no Brasil**. Brasil: Boletim de inteligência – Construção Civil, 2015.

SEBRAE; ESPM. **Cerâmica Vermelha: estudos de mercado**. São Paulo: SEBRAE Nacional, 2008. Relatório completo

SENAI. **Programa Setorial da Qualidade: Programa Setorial Da Qualidade Dos Blocos Cerâmicos - PSQ-BC**. Rio de Janeiro, 2016.

SILVA, Áurea de Paula Medeiros e. **Estudo do perfil térmico de fornos do tipo “caipira” utilizados pelo setor de cerâmica vermelha em parcelhas do Seridó-RN**. 2014. Tese de mestrado UFRN (Pós graduação Ciências Florestais) 2014 p 114.

SILVA, Amanda Vieira e. **ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO DOS TIJOLOS CERÂMICOS NO ESTADO DO CEARÁ – DA EXTRAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA À FABRICAÇÃO**. 2009. 102 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

SILVA, Antonio Paredes da. Materiais cerâmicos. In: MARTINS, Joao Guerra. **Materiais de Construção Civil III**. Porto: UFP, 2004. p. 151.

VERÇOSA, Enio José. MATERIAIS CERÂMICOS. In: BAUER, L. A. Falcão (Coordenador). **Materiais de Construção**. Vol. 2; revisão técnica João Fernando Dias. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. Cap. 18. p. 526-570.

APÊNDICE - QUESTIONÁRIO NA EMPRESA

- Existe algum controle de qualidade nos produtos?
☐ (1) Nunca (2) Raramente (3) Às vezes (4) Sempre
- Existem desperdícios de produtos?
☐ (1) Nunca (2) Raramente (3) Às vezes (4) Sempre
- A empresa procurou ajuda para manter o controle de qualidade nos produtos?
☐ (1) Nunca (2) Raramente (3) Às vezes (4) Sempre
- Alguma vez já foi feito o reaproveitamento de resíduos na massa dos blocos cerâmicos?
☐ (1) Nunca (2) Raramente (3) Às vezes (4) Sempre
- No processo de queima dos blocos, já foi realizado algum estudo, que diminui prejuízos causado aos produtos?
☐ (1) Nunca (2) Raramente (3) Às vezes (4) Sempre
- Os maiores desperdícios após a queima, é causada pelo o que?
 Obs.: Pode colocar mais de 1 número
☐

(1) Coloração escura	(2) Trincas e quebras
(3) Queima incompleta	(4) Outro _____
- Qual a demanda de blocos cerâmicos comercializado mensalmente?

- Existe um controle de temperatura dos fornos no processo de queima?
☐ (1) Nunca (2) Raramente (3) Às vezes (4) Sempre
- A queima acontece sempre em um mesmo tipo de forno?
☐ (1) Nunca (2) Raramente (3) Às vezes (4) Sempre
- Já foi realizado algum quantitativo que mostra o quanto o proprietário perde (em produtos e dinheiro) mensalmente, devido aos desperdícios de produtos?
☐ (1) Nunca (2) Raramente (3) Às vezes (4) Sempre
- Em qual parte do processo produtivo existe uma maior perda de produto?
☐ (1) Queima (2) Secagem (3) Extrusão (4) Outro _____

ANEXO

Tabela: dimensão de fabricação dos blocos cerâmicos de Vedação

Dimensões LxHxC Módulo dimensional M=10cm	Dimensões de Fabricação (cm)			
	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)	
			Bloco Principal	½ Bloco
(1) M x (1) M x (2) M	9	9	19	9
(1) M x (1) M x (2) M			24	11,5
(1) M x (1) M x (2) M		14	19	9
(1) M x (1) M x (2) M			24	11,5
(1) M x (1) M x (2) M			29	14
(1) M x (1) M x (2) M		19	19	9
(1) M x (1) M x (2) M			24	11,5
(1) M x (1) M x (2) M			29	14
(1) M x (1) M x (2) M			39	19
(1) M x (1) M x (2) M		11,5	11,5	24
(1) M x (1) M x (2) M	14		24	11,5
(1) M x (1) M x (2) M	19		19	9
(1) M x (1) M x (2) M			24	11,5
(1) M x (1) M x (2) M			29	14
(1) M x (1) M x (2) M			39	19

Fonte: NBR 15270 – 1: 2005