

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ALEXANDRE ZACCARON

**INCORPORAÇÃO DE CHAMOTE NA MASSA DE CERÂMICA VERMELHA COMO
VALORIZAÇÃO DO RESÍDUO**

CRICIÚMA - SC

2013

ALEXANDRE ZACCARON

**INCORPORAÇÃO DE CHAMOTE NA MASSA DE CERÂMICA VERMELHA COMO
VALORIZAÇÃO DO RESÍDUO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Sérgio Luciano Galatto

CRICIÚMA - SC

2013

ALEXANDRE ZACCARON

**INCORPORAÇÃO DE CHAMOTE NA MASSA DE CERÂMICA VERMELHA COMO
VALORIZAÇÃO DO RESÍDUO**

Trabalho de Conclusão de Curso para aprovação da Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Tratamento e Destino Final de Resíduos Sólidos.

Criciúma, 27 de Junho de 2013

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Sérgio Luciano Galatto - UNESC - Orientador

Dr. Adriano Michael Bernardin - UNESC

Msc.Vitor de Souza Nandi - UNESC

Dedico esse trabalho aqueles que confiavam em meu potencial, mesmo quando nem eu acreditava onde poderia chegar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os membros do SINDICER, LABCER e COOPEMI que cederam-me o espaço do laboratório de Cerâmica Vermelha e me instruíram de forma profissional para que obtivesse sucesso nos resultados. Agradeço também ao Wagner Benedet Rabelo, Engenheiro Ambiental que me supervisionou durante meu estágio.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Ambiental que me passaram conhecimento, contribuindo para minha formação acadêmica, especialmente ao professor Sergio Luciano Galatto, que com muita sabedoria me orientou e me conduziu durante esse semestre, esses serão sempre lembrados em cada passo dado na minha vida profissional.

Agradeço a minha família, que me incentivou sempre, mesmo quando nada parecia dar certo, estavam ao meu lado; a minha irmã Karoline, ao meu pai Célio José Zaccaron que me proporcionou a oportunidade de realização desse trabalho, a minha mãe Elizete Serafin Zaccaron, que me ensinou a batalhar e a buscar todos os meus sonhos fazendo sempre o melhor, e por fim agradeço a minha querida amiga e companheira Michele Marques Casagrande, que com muita paciência esteve cada minuto ao meu lado durante a produção desse estudo.

“Nós não podemos resolver problemas usando o mesmo tipo de pensamento que usamos quando os criamos.”

Albert Einstein

RESUMO

Morro da Fumaça é o maior polo da indústria de cerâmica vermelha do estado de Santa Catarina, estando situado na região de Criciúma que concentra grande número de empresas do setor. Analisando as questões ambientais que compreendem tal processo, deve-se enfatizar a geração de resíduos de centenas de cerâmicas, que não constam qualquer tipo de gerenciamento. Esse trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade técnica de incorporação do resíduo "chamote" na massa cerâmica em escala laboratorial. Foram realizados ensaios de caracterização química, física, mineralógica e de classificação do resíduo. Posteriormente, desenvolveu-se formulações em diferentes percentuais (5, 10, 15 e 20%) incorporando resíduo à massa cerâmica padrão de uma cerâmica da região. Os corpos-de-prova foram experimentados em duas etapas, sendo a primeira de forma manual e a segunda extrusada (bloco de vedação), e posteriormente submetida a tratamento térmico em estufa e queima em forno a 900 °C. As propriedades tecnológicas avaliadas foram: retração térmica linear de secagem e de queima, perda ao fogo, absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa e aparente e tensão de ruptura à flexão. Os resultados de classificação do resíduo indicaram como não perigoso - Classe II A - Não Inerte. Os resultados das diferentes propriedades tecnológicas permitiram verificar a viabilidade técnica da adição de até 20% de chamote no processo cerâmico em escala laboratorial, especificamente com melhoria nos parâmetros de secagem da cerâmica. Sugere-se o desenvolvimento do experimento em escala industrial, testando percentuais de resíduo com até 10% na massa cerâmica. O estudo econômico preliminar para definição de equipamento industrial ao beneficiamento do resíduo apontou a inviabilidade de uma única cerâmica adquirir tal tecnologia, podendo ser cooperativada em atendimento a um grupo de cerâmicas associadas.

Palavras-chave: Chamote. Cerâmica Vermelha. Tijolo. Resíduo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Argilas com maior (A) e menor (B) teor de plasticidade.	30
Figura 2 - Etapas de extração mineral em áreas licenciadas pela COOPEMI. (A e B) Escavadeira hidráulica em atividade; (C) Área minerada em morro; (D) Área minerada em várzea.....	32
Figura 3 - Fluxograma do processo produtivo da Cerâmica Vermelha.....	38
Figura 4 - Estoque e preparação da massa para fabricação de tijolos. (A) Caminhão basculante transportando material argiloso das jazidas até as cerâmicas; (B) Pilhas de argila no interior do galpão de estocagem; (C) Etapa de preparação da massa pelo operador de retro escavadeira; (D) Caixa alimentador.....	39
Figura 5 - Equipamento Maromba (extrusora) que modela a massa cerâmica dando formato às peças (A a D); Disposição das peças cruas para secagem (E a H).	41
Figura 6 - Fluxograma das atividades desenvolvidas.	44
Figura 7 - Utensílios usados na fabricação dos corpos-de-prova da Etapa 1.	49
Figura 8 - Equipamentos utilizados na conformação dos corpos-de-prova na Etapa 2. (A): extrusora em escala piloto; (B): (a) mesa transportadora; (b) cortadeira manual; (c) boquilha.....	50
Figura 9 - Curva de queima.	51
Figura 10 - Estufa (A) e forno (B) utilizados no tratamento térmico das amostras. ...	51
Figura 11 – Corpos-de-prova estudados. (A) Etapa 1 e (B) Etapa 2.	52
Figura 12 - Plasticímetro do Laboratório Técnico do IMG, utilizado para avaliação do teor de plasticidade das Argilas A e B.....	53
Figura 13 - Aparato utilizado para cálculo de densidade aparente.	56
Figura 14 - Detalhe das peças capeadas conforme NBR 15270-3:2005.....	58
Figura 15 - Gráfico da curva do índice de plasticidade.....	60
Figura 16 - Comportamento da distribuição granulométrica do chamote.	60
Figura 17 - Difratoograma de Raios X das matérias-primas (a) Argilas A, (b) Argila B e (c) Chamote.....	63
Figura 18 - Gráfico com resultados de retração de secagem e queima.	66
Figura 19 - Gráfico com resultados de perda ao fogo.	68
Figura 20 - Gráfico com valores obtidos para Densidade Aparente e Relativa.	69
Figura 21 - Gráfico de porosidade aparente.	70

Figura 22 - Microscopia para observação da porosidade das peças (A) Padrão e (B) F4.	71
Figura 23 - Gráfico com valores de absorção de água.	72
Figura 24 - Resistência Mecânica a Compressão Diâmetral.....	72
Figura 25 - Retração térmica linear de secagem e queima.	74
Figura 26 - Perda ao fogo.	75
Figura 27 - Absorção de água.	76
Figura 28 - Resultados de compressão mecânica.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da consistência dos argilominerais.....	30
Tabela 2 - Composições da massa cerâmica com o resíduo incorporado.....	48
Tabela 3 - Umidade <i>in natura</i> das matérias-primas.	48
Tabela 4 - Formulações realizadas na Etapa 2.	49
Tabela 5 - Valores obtidos no ensaio de plasticidade para as argilas A e B.	59
Tabela 6 - Valores do resíduo bruto, retidos em peneira malha 200 mesh (75 µm)..	61
Tabela 7 - Análise química das argilas e do chamote, em %.	62
Tabela 8 - Resultados do ensaio de lixiviação - Inorgânicos.....	64
Tabela 9 - Resultados do ensaio de solubilização.	65
Tabela 10 - Estimativa do valor para obtenção do equipamento do fornecedor 1.....	78
Tabela 11 - Estimativa do valor para obtenção do equipamento do fornecedor 2.....	79
Tabela 12 - Estimativa do valor para obtenção do equipamento do fornecedor 3.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA - Absorção de Água

ABC - Associação Brasileira de Cerâmica

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

a.C. - antes de Cristo

ACERTUBOS - Associação Latino Americana dos Fabricantes de Tubos Cerâmicos

ALESC - Assembleia Legislativa do Estado de Santa Catarina

AMUREL - Associação dos Municípios da Região de Laguna

ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica

ANREC - Associação dos Municípios da Região Carbonífera

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CCAD - Centro de Cerâmica A Distância

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COOPEMI - Cooperativa de Exploração Mineral

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

FATMA - Fundação do Meio Ambiente

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDT - Instituto de Engenharia e Tecnologia

IMG - Instituto Maximiliano Gaidzinski

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

IPARQUE - Parque Científico e Tecnológico

IPAT - Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas

LABCER - Laboratório Técnico de Cerâmica Vermelha

LDCM - Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais

LL - Limite de Liquidez

LP - Limite de Plasticidade

MPF - Ministério Público Federal

NBR - Normas Brasileiras

PF - Perda ao Fogo

PMI - Prefeitura Municipal de Içara

PMMF - Prefeitura Municipal de Morro da Fumaça

PROGESC - Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de SC

PRONAR - Programa Nacional de Controle de Poluição do Ar

RL_q - Retração Térmica Linear de Queima

RL_s - Retração Térmica Linear de Secagem

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SECTME - Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia, das Minas e Energia

SENAI_{SC} - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de Santa Catarina

SINDICER - Sindicato da Indústria de Cerâmica Vermelha

TAC - Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 JUSTIFICATIVA	19
4 REFERENCIAL TEÓRICO	20
4.1 ASPECTOS LEGAIS.....	20
4.1.1 Legislação Federal.....	20
4.1.2 Legislação Estadual	24
4.1.3 Legislação Municipal.....	24
4.2 HISTÓRIA DA CERÂMICA VERMELHA.....	25
4.2.1 Cerâmica Vermelha no Brasil	25
4.2.2 Cerâmica Vermelha em Santa Catarina	26
4.2.3 Cerâmica Vermelha em Morro da Fumaça	27
4.3 MATÉRIA-PRIMA.....	28
4.3.1 Argilas.....	28
4.3.2 Aplicabilidade	31
4.3.3 Extração de Material Argiloso	31
4.3.4 Chamote	33
4.4 PROCESSO	34
4.4.1 Tipos de Processos	34
4.4.1.1 Fornos Intermitentes ou Periódicos.....	35
4.4.1.2 Fornos Contínuos.....	36
4.4.2 Processo Produtivo	37
5 METODOLOGIA	43
5.1 COLETA DE AMOSTRAS E BENEFICIAMENTO	44
5.2 CARACTERIZAÇÕES DAS AMOSTRAS	45
5.2.1 Caracterização Física, Química e Mineralógica	45
5.2.2 Classificação do Resíduo “Chamote”	46
5.3 MÉTODOS	47
5.3.1 Preparação das Amostras	47
5.3.2 Formulação das Composições	47

5.3.3	Preparação dos Corpos-de-prova	49
5.3.4	Tratamento Térmico	50
5.4	TESTES DE QUALIDADE	52
5.4.1	Umidade	52
5.4.2	Plasticidade	53
5.4.3	Resíduo Bruto	54
5.4.4	Retração Térmica Linear de Secagem	54
5.4.5	Retração Térmica Linear de Queima	55
5.4.6	Densidade Aparente e Relativa	55
5.4.7	Perda ao Fogo	56
5.4.8	Absorção de Água	56
5.4.9	Porosidade Aparente	57
5.4.10	Resistência Mecânica à Compressão Diametral	57
5.4.11	Resistência Mecânica à Compressão	58
6	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS	59
6.1	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	59
6.1.1	Caracterização Física, Química e Mineralógica	59
6.1.1.1	Caracterização Física	59
6.1.1.2	Caracterização Química	61
6.1.1.3	Caracterização Mineralógica	62
6.1.2	Classificação do Resíduo	64
6.2	RESULTADOS DOS ENSAIOS LABORATORIAIS	65
6.2.1	Corpos-de-prova (Manual) - Etapa 1	65
6.2.1.1	Retração Térmica Linear de Secagem	65
6.2.1.2	Retração Térmica Linear de Queima	67
6.2.1.3	Perda ao Fogo	67
6.2.1.4	Densidade Aparente e Relativa	68
6.2.1.5	Porosidade Aparente	69
6.2.1.6	Absorção de Água	71
6.2.1.7	Resistência Mecânica à Compressão Diâmetral	72
6.2.2	Corpos-de-prova (Blocos de Vedação) - Etapa 2	73
6.2.2.1	Retração Térmica Linear de Secagem	73
6.2.2.2	Retração Térmica Linear de Queima	74
6.2.2.3	Perda ao Fogo	74

6.2.2.4 Absorção de Água.....	75
6.2.2.5 Compressão Mecânica	76
6.3 PROPOSIÇÃO DE ALTERAÇÕES NO PROCESSO INDUSTRIAL PARA APLICAÇÃO DO RESÍDUO	78
6.3.1 Fornecedor 1 - Equipamento Moinho de Martelos	78
6.3.2 Fornecedor 2 - Equipamento Moinho de Martelos	79
6.3.2 Fornecedor 3 - Equipamento Moinho de Martelos	79
6.3.4 Estimativa de Custos para Viabilidade Econômica da Utilização do Chamote no Processo Industrial.....	80
6.3.4.1 Estimativa de Custos de Produtividade	80
6.3.4.2 Estudo Simplificado da Utilização dos Equipamentos.....	82
7 CONCLUSÃO	84
REFERÊNCIAS	86
APÊNDICE (A)	92
APÊNDICE (B)	96
ANEXO (A)	99
ANEXO (B)	107
ANEXO (C)	111
ANEXO (D)	118

1 INTRODUÇÃO

A cerâmica está presente na vida do homem há milhares de anos, seja no artesanato para confecção de jarras e potes ou estrutural. Escavações arqueológicas revelam que os tijolos eram utilizados pelas civilizações dos anos 4.000 a.C. (CCAD *apud* SINDICER, 2005).

Ainda segundo CCAD *apud* SINDICER (2005), nos anos 700 a.C. começaram a ser construídas grandes obras com uso de tijolos queimados, provocando um aumento na produtividade, apontando um número impressionante para um artigo completamente manual. Tais dados mostram a importância do setor ao longo dos anos.

Segundo Zanelatto (1993) a cerâmica estrutural teve início em 1932 na região de Morro da Fumaça como promessa de industrialização deste distrito; com um número pequeno de olarias, a comercialização era feita com os municípios vizinhos. Maccari (2005) coloca que a facilidade de se obter as matérias-primas era o maior aliado dos pequenos ceramistas, que unida à boa qualidade das mesmas tornou um bom investimento a algumas famílias que trocaram a agricultura pela cerâmica. Por não haver um mercado muito expressivo para o produto nos redores, o número de “olarias” era de certa forma pequena, mas a partir da década de 70, com a implantação da BR 101 na região sul, os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul foram interligados, facilitando a comercialização aos estados vizinhos, acarretando no aumento do número de cerâmicas estruturais em Morro da Fumaça (ZANELATTO, 1993), e conseqüentemente pelo consumo de material argiloso (argilas), principal matéria-prima utilizada pelo setor.

A demanda na construção civil nos últimos anos vem promovendo um crescimento na cerâmica estrutural da produção de tijolos e telhas. Na visão econômica isso é tratado com otimismo, porém nas questões ambientais apresenta-se com potencial na geração de impactos ambientais, especialmente na extração de matéria-prima.

Os dados apresentados pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2010) apresentam uma melhoria do setor de construção civil nos últimos anos, uma vez que no período anterior a 2003 ocorreram oscilações altas e baixas, fortemente marcado pela ausência de incentivos, pouca disponibilidade de recursos e a presença inexpressiva de financiamentos imobiliários.

Segundo a ALESC (2012) Santa Catarina apresenta três regiões de destaque na produção de cerâmica vermelha, sendo o principal polo no município de Morro da Fumaça, porém na região de Criciúma conta com 274 empresas. Essas empresas empregam sete mil trabalhadores e tem uma produção mensal de 100 mil milheiros, sendo 20% de telhas e 80% de tijolos. O principal destino da produção são os estados do Rio Grande do Sul e Paraná, além do país vizinho, Argentina.

Segundo a ABCeram (2011), o Setor Cerâmico Brasileiro, de um modo geral, apresenta uma grande deficiência em dados estatísticos e indicadores de desempenho, ferramentas indispensáveis para acompanhar o seu desenvolvimento e melhorar a competitividade, entre outros fatores. À frente de tais dificuldades a ANICER (2008) mostra que a produção de tijolos no país é de 4.000.000.000 peças/mês e o crescimento da construção civil gera uma renda para o setor de aproximadamente R\$ 2.841.281.000 (IBGE, 2010), o que mostra a importância da cerâmica para o Brasil. Todavia, o consumo de matéria-prima, diante de um quadro de produção tão animador, acaba se tornando vilão quando analisado pelas questões ambientais, onde a ANICER (2008) mostra que uso de material argiloso para suprir tal demanda é de 7.800.000 ton/mês, e pouco se sabe do destino e do gerenciamento do resíduo gerado nessas indústrias.

Em meados de 2004, o Ministério Público Estadual através da Ação Civil Pública nº 01.2011.012796-6 promoveu maior rigidez neste segmento, exigindo readequações nas atividades junto à cerâmica vermelha. Uma das exigências está relacionada à execução de projetos de recuperação das áreas de passivo ambiental de extração de material argiloso, seguida também da padronização dos blocos estruturais, controle de emissões atmosféricas e utilização de combustível de fontes renováveis. Em paralelo às questões ambientais, o setor de cerâmica vermelha está desenvolvendo estudos que visam à incorporação de diferentes materiais e resíduos na matéria-prima (GOUVEIA, 2008; VIEIRA, TEIXEIRA e MONTEIRO, 2009; TELOEKEN *et al.*, 2012). Importante ressaltar, que a maior parte dos resíduos gerados após o processo de queima, não são reaproveitados, tornando-se um empecilho para manuseio, além de custos com sua disposição final em aterro.

Dentro desta premissa, este trabalho busca avaliar a reutilização do rejeito (chamote) de cerâmica vermelha gerado no processo de quebra de tijolos pós-queima na massa padrão, de forma à minimizar custos com material argiloso e a diminuição da disposição de forma desordenada no meio ambiente.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a aplicação do rejeito “chamote” formado a partir da moagem de tijolos descartados oriundos do processo de pós-queima da cerâmica vermelha, de forma a reaproveitá-los no processo industrial e diminuir a degradação ambiental.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fazer a caracterização física, química e mineralógica do resíduo “chamote”;
- Classificar o resíduo “chamote” pela NBR 10004:2004;
- Fazer a caracterização física e química das argilas;
- Realizar ensaios em escala laboratorial aplicando diferentes formulações do chamote na massa de cerâmica vermelha;
- Realizar testes de qualidade com os corpos-de-prova em escala laboratorial;
- Identificar as alterações necessárias no processo industrial para emprego do chamote de cerâmica vermelha.

3 JUSTIFICATIVA

Os produtos da cerâmica vermelha caracterizam-se pela cor vermelha de seus produtos, representados por tijolos, blocos, telhas, tubos, lajes para forro, lajotas, vasos ornamentais, agregados leves de argila expandida e outros. No que se refere à matéria-prima, o setor utiliza basicamente argilas comuns. A obtenção da massa ocorre, em geral, com base na experiência acumulada, visando uma composição ideal de plasticidade e fusibilidade, facilitando o manuseio e propiciando resistência mecânica na queima (SEBRAE, 2008).

A cerâmica vermelha não apresenta muitas exigências quanto à fabricação de seus produtos, por isso, a incorporação de resíduos industriais dos mais variados tipos vem sendo utilizada como alternativa viável e possível de incorporar nas massas cerâmicas. O rejeito do processo industrial da cerâmica vermelha, depois de beneficiado é popularmente conhecido como “chamote” e pode ser uma alternativa de reutilização.

Importante destacar que os resíduos industriais constituem-se atualmente um dos principais problemas ambientais a serem enfrentados pelo setor industrial, que encontra grandes dificuldades em gerenciá-los de modo adequado. Na cerâmica vermelha estima-se uma perda de 3% de sua produção total, percentual formado de tijolos quebrados e com algum defeito no pós-queima, segundo pesquisas realizadas na Universidade de Brasília (VASCONCELOS, 2009).

Partindo desta linha de pesquisa, esse trabalho busca avaliar a incorporação do rejeito “chamote” na formulação da massa de cerâmica vermelha visando a sua valorização, bem como a minimização de desperdícios com matéria-prima “argilas”, o que contribuirá para a minimização de impactos no meio ambiente.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 ASPECTOS LEGAIS

O setor de cerâmica vermelha, principalmente as empresas alocadas na região sul, tem relação direta à degradação ambiental, seja pela emissão de gases atmosféricos, seja pelos impactos ambientais oriundos da atividade de lavra, ou numa escala menos significativa, na geração de resíduos sólidos.

Nesse sentido, os empresários associados ao Sindicato da Indústria de Cerâmica Vermelha (SINDICER) contam com uma Cartilha da Indústria Cerâmica, Extração de Argila e Areia, que os orienta nas questões ambientais além da adequação às normas de qualidade dos produtos acabados.

4.1.1 Legislação Federal

A cartilha do SINDICER, datada de 2005, cita a Constituição Federal do Brasil de 1988, onde no Capítulo VI, no artigo 225 prescreve que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

A mesma cartilha destaca também a Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997, tendo em seu Art. 2º “A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis”.

No inciso primeiro consta: “Estão sujeitos ao licenciamento ambiental os empreendimentos e as atividades relacionadas no Anexo 1, parte integrante desta Resolução”. Neste anexo, consta a listagem de atividades ou empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental. Dentre as indústrias de produtos minerais não metálicos cuja fabricação e elaboração de produtos, destacam-se: produção de material cerâmico, cimento, gesso, amianto e vidro, entre outros.

a) Quanto à Mineração e Recuperação de Áreas Degradadas

- Novo Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 fixa as condições específicas às áreas de preservação permanente;
- Decreto Federal nº 97.632 de 10 de abril de 1989 que estabelece a realização de plano de recuperação de áreas degradadas para empreendimentos que se destinam a exploração de recursos minerais;
- A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, especificando seus fins e mecanismos de formulação e aplicação;
- A Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, estabelece as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e seu Decreto nº 3.179, de 21/09/1999, tipifica as infrações administrativas e especifica as sanções aplicáveis.

Por fim a resolução nº 09 do CONAMA de 06 de dezembro de 1990, que obriga a retirada de Licenciamento Ambiental junto aos órgãos, para que se possam realizar as atividades de lavra. Segundo SINDICER (2005), a extração de argila sem a devida licença ambiental de operação é Crime Ambiental (Art. 54 da Lei nº 9.605/98) estando o responsável sujeito ao embargo, multas e prisão.

b) Quanto à Emissão de Gases

A Resolução do CONAMA nº 003 de 28 de junho de 1990, define como padrão de qualidade do ar, as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e a fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Conceitua os padrões primários e secundários de qualidade do ar.

- Resolução CONAMA nº 05 de 15/06/89, que institui o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - PRONAR;
- Resolução CONAMA nº 382 de 26 de dezembro de 2006, estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.

c) Quanto à Classificação do Resíduo

A classificação dos resíduos sólidos é realizada através da NBR 10004:2004, a qual define duas classes: a) Classe I: Perigosos; b) Classe II: Não-Perigosos. Os resíduos Classe II está subdividido em Classe II-A (Não Inertes) e Classe II-B (Inertes).

- **Resíduo Classe I** - Podem apresentar riscos a saúde e ao meio ambiente, apresentam ao menos uma das propriedades, tais como: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade (ABNT, 2004);
- **Resíduo Classe II A** - Podem apresentar propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (ABNT, 2004);
- **Resíduo Classe II B** - Resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, conforme ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, de acordo com ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (ABNT, 2004).

A classificação do resíduo segundo a Gestão deste, se enquadra na Resolução CONAMA nº 307 de 5 de julho de 2002, onde estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. De acordo com o Art. 3, os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

- **I - Classe A** - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
 - De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

- De processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- **II - Classe B** - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- **III - Classe C** - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- **IV - Classe D** - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

d) Quanto à Qualidade e Padronização de Blocos Cerâmicos

A NBR 15270 (ABNT, 2005) define os termos e fixa os requisitos dimensionais, físicos e mecânicos exigíveis no recebimento de blocos cerâmicos estruturais a serem utilizados em obras de alvenaria estrutural, com ou sem revestimento, estando subdividida em três partes:

- NBR 15270-1 - Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação;
- NBR 15270-2 - Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural;
- NBR 15270-3 - Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de Ensaio.

Com relação a padronização do produto “blocos cerâmicos”, a norma técnica é a NBR 5711:1982, que trata de “Tijolo modular de barro cozido”, onde fixa a padronização para tijolos modulares de barro cozido a serem empregados na construção coordenada modularmente.

Com base às normas técnicas citadas anteriormente que devem ser estabelecidas como padrão, pode-se acrescentar também a Portaria do INMETRO nº 16, de 05 de janeiro de 2011, que trata da padronização de peças cerâmicas.

4.1.2 Legislação Estadual

O Estado de Santa Catarina possui algumas legislações relacionadas a proteção do meio ambiente, dentre estas pode-se destacar:

- Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009, institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências;
- Portaria da FATMA nº 078, de 18/11/2004, que fixa os critérios para fins de definição e aplicação das medidas de compensação ambiental decorrentes do licenciamento ambiental de significativo impacto ambiental, das autuações ambientais transacionadas e dos usos legais de área de preservação permanente.

4.1.3 Legislação Municipal

A área de abrangência dos associados da SINDICER não se limita apenas a Morro da Fumaça, mas também municípios vizinhos como Içara, Treze de Maio, Sangão, Jaguaruna, Cocal do Sul e Criciúma. A Cooperativa de Exploração Mineral (COOPEMI) opera com lavra de material argiloso nos municípios de Içara e Morro da Fumaça, portanto, são apresentadas leis relacionadas à extração mineral:

- Lei Orgânica de Morro da Fumaça (SC) de 09 de abril de 1990
 - Art. 181 - Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei, além de outros fatores.
- Lei Orgânica de Içara (SC) de 05 de abril de 1990
 - Art. 176 - Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da Lei.

4.2 HISTÓRIA DA CERÂMICA VERMELHA

4.2.1 Cerâmica Vermelha no Brasil

No Brasil, há mais de 2000 anos, antes mesmo da sua “descoberta” pelos portugueses, já existia a atividade de fabricação de cerâmicas, representada por potes, baixelas e outros artefatos cerâmicos (ACERTUBOS, 2007 *apud* SEBRAE, 2008).

A cerâmica mais elaborada foi encontrada na Ilha de Marajó; do tipo marajoara, tem sua origem na avançada cultura indígena da Ilha. Entretanto, estudos arqueológicos indicam que a presença de uma cerâmica mais simples ocorreu na região amazônica, há mais de 5000 anos atrás (SEBRAE, 2008).

No que diz respeito à cerâmica vermelha, as escassas e imprecisas informações referem-se à utilização no período Colonial, a partir de técnicas de produção rudimentares introduzidas pelos jesuítas, que necessitavam de tijolos para construção de colégios e conventos. (MACHADO, 2010).

Existem indícios de que, em 1575, utilizaram-se telhas para a formação da vila que viria a ser a cidade de São Paulo (SP). A partir desse estímulo que iniciou o desenvolvimento da atividade cerâmica de forma mais intensa, sendo as olarias, o marco inicial da indústria em São Paulo (SANTIS, 2012). Com a maior concentração nas últimas décadas do século XIX, a produção oriunda das olarias se concentrava em processos manuais, tendo como produto tijolos, telhas, tubos, manilhas, vasos, potes eoringas, os quais eram comercializados localmente (SEBRAE, 2008).

A primeira grande fábrica de produtos cerâmicos do Brasil foi fundada em São Paulo, em 1893, por quatro irmãos franceses, naturais de Marselha, com o nome de “Estabelecimentos Sacoman Frères”, posteriormente alterado para “Cerâmica Sacoman S.A.”, a qual encerrou suas atividades em 1956. O nome das telhas conhecidas por “francesas” ou “marselhesas” é devido à origem destes empresários (ABC, 1979 *apud* SEBRAE, 2008).

Nos últimos anos do século XIX e início do XX houve um processo de especialização na cerâmica, separando a “cerâmica vermelha” popularmente conhecida por “olarias” (produtoras de tijolos e telhas) das “cerâmicas de

revestimento” (produtoras de itens mais sofisticados, como manilhas, tubos, azulejos, louças, potes, talhas, etc.) (SEBRAE, 2008).

4.2.2 Cerâmica Vermelha em Santa Catarina

A cerâmica vermelha foi introduzida no Estado de Santa Catarina pelos imigrantes europeus. Primeiro pelos açorianos que chegaram à região litorânea e mais tarde pelos alemães e italianos que levaram esta cultura para outras regiões. A cerâmica vermelha compreende produtos como: tijolos, telhas, pisos, vasos, peças decorativas, entre outros, constituindo um grupo de produtos rústicos sem acabamento. Vem desempenhando papel importante nos aspectos cultural, social e econômico (MAFRA, 1999).

Segundo dados da Associação Nacional de Indústrias Cerâmicas (ANICER, 1997 *apud* MAFRA, 1999), no Estado de Santa Catarina, a cerâmica vermelha é constituída por 742 empresas. Deste total, mais de 90% são de pequeno porte, funcionando com estrutura artesanal, concentrando-se 51,9% na Região Norte; 38,8% na Região Sul e, 9,3% na Região Oeste.

Alguns estudos realizados indicam que estas empresas são responsáveis por onze mil empregos diretos e três mil indiretos, concentrando sua produção em 62,9% de tijolos; 28,5% de telhas e 8,6% de outros produtos. Em alguns municípios da região sul, como por exemplo, Morro da Fumaça e Sangão, o valor da produção total oriunda das cerâmicas vermelhas representa mais de 80% da principal atividade econômica (MAFRA, 1999).

No diagnóstico do Setor de Cerâmica Vermelha em Santa Catarina, realizado e publicado pela Secretaria do Estado da Ciência e Tecnologia, das Minas e Energia (SECTEME, 1990 *apud* MAFRA, 1999), em julho de 1990, identificaram-se os principais problemas existentes, comuns à maioria das empresas do setor independente da região do Estado, tais como:

- Falta de planejamento;
- Desperdício de matéria-prima, energia e combustível;
- Desconhecimento de normalização do produto final;
- Inexistência de controle de qualidade;
- Processo tecnológico arcaico.

Ainda de acordo com o diagnóstico da SECTEME (1990) *apud* Mafra (1999), na década de 90, cerca de 85,5% das empresas não adotam normas técnicas, resultando produtos com vários tamanhos e grandes variações de características técnicas, dificultando o próprio uso dos mesmos, o que mudou em meados de 2004 devido a pressão feita pelo Ministério Público quanto a adequação das normas.

4.2.3 Cerâmica Vermelha em Morro da Fumaça

Os imigrantes Italianos que colonizaram as terras e fundaram o distrito, certamente conheciam as técnicas de produção, uma vez que os países europeus possuíam uma indústria ceramista desenvolvida naquela época. O conhecimento de técnicas para a produção de cerâmica utilitária, como telhas e tijolos, aliados à disponibilidade de matéria-prima na região, foram os fatores determinantes para o processo de expansão da produção ceramista em Morro da Fumaça, que se destaca ainda hoje, como um dos principais polos em cerâmica estrutural do estado (MACCARI, 2005).

A Revista NovaCer (2010), diz que a primeira olaria que se teve notícia, era de propriedade do senhor Pedro Gabriel, fundado em 1928, constituído por um galpão com fabricação artesanal e com baixa produtividade. Por esse fator, os historiadores sempre iniciam a contagem com a segunda olaria, iniciada quatro anos depois, em 1932, fundada pelo senhor Olívio Cechinel, fabricando diariamente três mil tijolos maciços, com o auxílio de três bois. Dos bois ao motor, a indústria de tijolos foi modernizando-se e trocou os bois por um motor alimentado por carvão vegetal. Com o motor, a olaria passou a produzir dez mil tijolos maciços ao dia, que eram queimados em fornos alimentados com a moinha do carvão vegetal (MACCARI, 2005).

As olarias representaram o marco inicial da indústria em Morro da Fumaça como afirma Maccari (2005), sendo por muitos anos o principal setor da economia que impulsionou o crescimento do município.

Com aproximadamente 16.126 habitantes (IBGE, 2010), Morro da Fumaça já sediou mais de 100 cerâmicas vermelhas, e é denominada como capital do tijolo. Atualmente, conta com sessenta e uma (61) cerâmicas, em geral constituídas por pequenas e médias empresas, que geram cerca de 2.100 empregos

diretos e 3.300 indiretos, com faturamento bruto mensal estimado em R\$ 1,5 milhão (PAGNAM, 2011).

4.3 MATÉRIA-PRIMA

Maccari (2005), diz que a principal matéria-prima para produção de tijolos é a argila, sendo que Morro da Fumaça possui reservas minerais em seu território. Os colonizadores que se instalaram na região, viram que a argila aqui contida era de qualidade para a produção de cerâmica, e, portanto aplicaram aqui o processo.

Com o aumento da produtividade veio a demanda por material argiloso, trazendo consigo nos últimos anos a escassez das jazidas na região, obrigando algumas cerâmicas a procurarem jazidas em outras localidades, além de outras formas e materiais para produção de tijolos de alvenaria. A mistura da massa cerâmica utilizando argilas mais nobres com outras menos nobres, ou mesmo com a incorporação de materiais não argilosos, como o uso de resíduos, são medidas pontuais adotadas por algumas cerâmicas para minimizar custos.

De acordo com Teloeken *et al.*, (2012), o desenvolvimento industrial ao longo das últimas décadas tem gerado grandes quantidades de resíduos tóxicos, como por exemplo, cinza volante de usinas termelétricas, escória metalúrgica, materiais que contêm amianto, entre outros. A deposição desses materiais em aterros industriais vem se tornando inviável, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. Portanto, existe uma crescente busca por metodologias de valorização e reciclagem desses resíduos, que devem ser economicamente viáveis e de extrema importância, a fim de contribuir para um desenvolvimento sustentável.

4.3.1 Argilas

Os materiais argilosos são predominantemente constituídos por argilominerais, que apresentam a plasticidade em presença da água (OLIVEIRA, 2011).

Oliveira (2011) descreve a argila como um material natural de textura terrosa e de baixa granulometria, que geralmente, é extraída com certo teor de umidade e grau de plasticidade, suficiente para poder ser moldada, perdendo parte da umidade no processo de secagem e queima.

Loyola (2004) caracteriza a argila fisicamente como:

- Possuir conteúdo elevado de partículas com diâmetro inferior a 0,002 mm;
- Quando pulverizada e misturada com água em quantidade adequada, torna-se plástica;
- Após secagem, torna-se consistente e rígida, adquirindo grande dureza após secagem e queimada à temperatura elevada.

Ainda de acordo com Oliveira (2011), a argila é constituída por silicato de alumínio podendo conter cálcio, magnésio, ferro, entre outros elementos dependentes da jazida. A forma mais pura de argila é a caulinita, cuja fórmula molecular é $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. A composição química da caulinita é 47% de SiO_2 , 39% de Al_2O_3 e 14% de H_2O .

Além dos argilominerais, geralmente as argilas possuem outros minerais como quartzo, mica, pirita, sais solúveis, etc. Estes minerais proporcionam às argilas as mais diversas propriedades e comportamentos físicos e físico-químicos (OLIVEIRA, 2011).

Loyola (2004) afirma que muitas argilas possuem a presença de CaO , MgO , K_2O e Na_2O em sua composição química.

Com relação à coloração das argilas, seja pré ou pós-queima, depende de alguns fatores, como por exemplo, o teor de ferro na composição. Rossi (1999) descreve, que quando queimadas, as argilas adquirem colorações que vão do creme aos tons avermelhados, o que mostra o maior ou menor grau de óxido de ferro.

Loyola (2004) descreve que as peças costumam ter geralmente cor vermelha pós queima em baixas temperaturas, em torno a 950 °C, temperatura usual de queima para esses produtos.

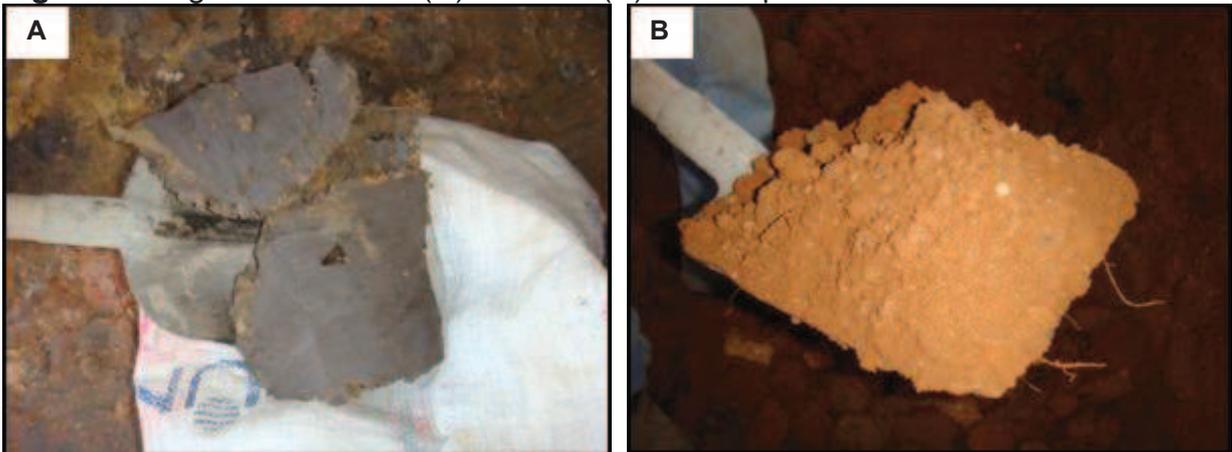
No caso da plasticidade, para Loyola (2004), constitui na propriedade que um corpo sólido tem quando sofre deformação por aplicação de uma carga qualquer, permanecendo deformado mesmo após a retirada de carga. Oliveira (2011) diz que a liga das argilas varia consideravelmente segundo sua plasticidade e teor de areia.

As argilas plásticas, ricas em substâncias argilosas, são chamadas de gordas, contendo até 80% dessas substâncias. Já as argilas arenosas e ásperas ao tato são chamadas de magras, contendo 60% de areia (OLIVEIRA, 2011).

Riella (2010) define limite de liquidez (LL) como sendo o conteúdo de umidade da argila que coincide com o mínimo de plasticidade e o início da

pegajosidade. O mesmo autor coloca que o limite de plasticidade (LP), teoricamente, corresponde ao ponto onde ocorre o mínimo de plasticidade, no entanto, esse limite refere-se ao conteúdo de umidade no qual a consistência muda de friável para plástica. A Figura 1 ilustra argilas gordas e magras.

Figura 1 - Argilas com maior (A) e menor (B) teor de plasticidade.



Fonte: Autor (2013).

Riella (2010) apresenta na Tabela 1 valores indicados para uso das argilas dentro dos padrões de plasticidade.

Tabela 1 - Classificação da consistência dos argilominerais.

Índice de Plasticidade	Consistência
1-7	Fracamente plástica
7-15	Medianamente plástica
Acima de 15	Altamente plástica

Fonte: Riella (2010)

A plasticidade das argilas é classificada, em campo, segundo as seguintes classes (RIELLA, 2010):

- Não-plástica: após manipulação forma-se um fio que é facilmente deformado;
- Ligeiramente plástica: forma-se um fio, que é facilmente deformado;
- Plástica: forma-se um fio, sendo necessária alguma pressão para deformá-la;
- Muito plástica: forma-se um fio, sendo necessária muita pressão para deformá-la.

4.3.2 Aplicabilidade

As argilas apresentam enorme gama de aplicações, tanto na área de cerâmica como em outras áreas tecnológicas. Pode-se dizer que em quase todos os segmentos de cerâmica tradicional a argila constitui total ou parcialmente a composição das massas (SINDICER, 2006)

Além da cerâmica, as argilas são aplicadas em outros segmentos industriais: cimento, abrasivos, isolantes elétricos, térmicos e acústicos, siderúrgica, produtos asfálticos, construção civil, entre outros (LOYOLA, 2004). Segundo o mesmo autor, as argilas para a fabricação de tijolos devem ser moldadas facilmente, possuir valor médio ou elevado de tensão ou módulo de ruptura à flexão.

De modo geral, as argilas mais adequadas à fabricação dos produtos de cerâmica vermelha apresentam em sua constituição os argilominerais illita, de camadas mistas illita-montmorilonita e clorita-montmorilonita, além de caulinita, pequenos teores de montmorilonita e compostos de ferro (SINDICER, 2006).

4.3.3 Extração de Material Argiloso

Durante muitos anos, a extração de material argiloso se mantinha de forma irregular, sem nenhum tipo de auxílio técnico ou de acompanhamento por profissional habilitado, fazendo com que muitas áreas fossem abandonadas após processo de mineração, gerando áreas de passivo ambiental popularmente conhecidas por “cavas abandonadas”.

De acordo com Maccari (2005), a extração da argila é realizada por retro escavadeiras que operam extensas valas, cerca de dois metros de profundidade por cinco ou mais de comprimento. Quando esgotada a matéria-prima naquele local, a exploração parte para outro deixando as depressões abertas sem qualquer proteção. Nas áreas geográficas onde há exploração de argila, verifica-se que o solo fica desgastado, tornando-se impróprio, especialmente para a agricultura. As depressões acumulam águas paradas propiciando a proliferação de microvetores (insetos).

Atualmente, a ação dos órgãos vigentes apoiados à rigidez das leis ambientais tem obrigado os ceramistas obterem licenças ambientais para exercer a

atividade de mineração nas jazidas de empréstimo. Essa ação tem reduzido o número de áreas irregulares conhecidas como “áreas de extração clandestina”.

Em função de exigências legais, em 2009, a Cooperativa de Exploração Mineral da Bacia do Rio Urussanga (COOPEMI), assinou um Termo de Ajuste de Condutas (TAC) em comum acordo com o Ministério Público Federal (MPF), Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA), e outras 46 empresas cerâmicas da AMREC e AMUREL, visando à regularização da extração de material argiloso, no prazo de um ano. A Figura 2 ilustra a extração de material argiloso em áreas licenciadas pela Cooperativa.

Figura 2 - Etapas de extração mineral em áreas licenciadas pela COOPEMI. (A e B) Escavadeira hidráulica em atividade; (C) Área minerada em morro; (D) Área minerada em várzea.



Fonte: (A, C e D) Autor (2013); (B) Rabelo (2010).

De acordo com Oliveira (2011), o material argiloso após extraído é armazenado nas proximidades da jazida sobre a ação de intempéries, popularmente conhecida por “sazonamento”. Para Zandonadi & Lashimoto (1991), sazonalidade

"consiste na estocagem de argila a céu aberto em períodos de tempo que variam de seis meses a dois anos". A exposição do material extraído às intempéries provoca a lavagem de sais solúveis, o alívio de tensões nos blocos de argilas, melhorando sua plasticidade e homogeneizando a distribuição de umidade. No entanto, Oliveira (2011) informa que essa prática é impossível nos dias atuais devido aos elevados custos de estocagem.

4.3.4 Chamote

Chamote pode ser definido como um subproduto proveniente de rejeitos de material cerâmico após a queima (DONDI *et al.*, 1998). Para chegar a um nível de fragmentação aceitável, esse material deve ser moído posteriormente ao seu descarte. Para Vieira (2004) esse é um procedimento geralmente realizado por moinhos de martelo.

Este material é considerado inerte até a sua temperatura de obtenção, sendo que a partir desta fase reage à massa base do corpo cerâmico. Pode ser considerado um dos materiais não plásticos eventualmente incorporados em massas a produção cerâmica (GOUVEIA, 2008).

Vieira (2004) aponta que em função do chamote apresentar granulometria mais grosseira que a argila, auxilia no melhoramento do grau de empacotamento; e devido à morfologia das partículas, contribui significativamente na etapa de secagem.

O estudo realizado por Ripolo Filho (1997) *apud* Gouveia (2008) aponta o uso do chamote na melhoria da qualidade na fabricação de elementos cerâmicos:

- Possibilidade de utilizar o chamote homogeneizado na fabricação de elementos cerâmicos, desde que em proporção ideal e queimado à temperatura adequada;
- As tensões de ruptura e absorção de água obtida estão de acordo com aquelas previstas pelas normas brasileiras;
- A adição de chamote à argila contribui potencialmente para o controle da retração, além de permitir o aproveitamento desse tipo de resíduo na fabricação de produtos de boa qualidade.

4.4 PROCESSO

As primeiras cerâmicas do município de Morro da Fumaça utilizavam processo artesanal. Atualmente, diversos equipamentos auxiliam no processo produtivo (MACCARI, 2005). Este mesmo autor informa que apesar de sua importância e representatividade econômica, o setor cerâmico ao longo dos anos, não acompanhou a evolução tecnológica e a forma de administração continua a mesma herdada por seus fundadores (repassadas de pai para filho), ocasionando desperdícios em todo processo produtivo.

Por serem de pequeno porte e estando á margem de qualquer programa que incentive, financie, assessore e pesquise, seja por parte dos Governos, Universidades ou de Centros de Pesquisa, as cerâmicas vermelhas lutam contra o tempo, a tecnologia e as crises de mercado, produzindo e sobrevivendo graças a sua flexibilidade, a garra e a teimosia de seus dirigentes (MAFRA, 1999).

Muitos são os problemas enfrentados por este setor, entre estes: i) falta de planejamento e controle, que vão desde o consumo de matéria-prima até a produtividade diária; ii) condições precárias de trabalho (alto nível de ruído, poeira); iii) Risco de segurança no processo produtivo.

4.4.1 Tipos de Processos

Ainda são conhecidos os sistemas de produção puxada, mas para facilitar o entendimento das características inerentes a cada sistema e suas relações com a complexidade das atividades de planejamento e controle, Tubino (1997) apresenta duas formas:

- Grau de padronização dos produtos: os produtos são padronizados sob medida uniforme e produzidos em grande escala, procurando maior eficiência do sistema e redução dos custos;
- Tipo de operação: os sistemas de produção podem ser classificados em dois grupos: processos contínuos e processos discretos. Essa classificação está associada ao grau de padronização dos produtos e ao volume.

Não se diferem muito as tecnologias entre as cerâmicas instaladas na região, uma vez que o fornecimento de maquinário é realizado por empresas locais

do ramo metalúrgico. O que difere são os processos de queima (tipos de fornos). Quanto ao período de queima, existem os fornos intermitentes e os contínuos.

Os fornos intermitentes são os mais utilizados, sendo que 60% dos fornos intermitentes são do tipo garrafão, enquanto que 39% do total de fornos existentes são do tipo paulistinha ou caipira, e apenas 1% são fornos do tipo contínuos (PAGNAM, 2011).

4.4.1.1 Fornos Intermitentes ou Periódicos

Consistem em carga manual, com aquecimento até uma determinada temperatura, patamar na temperatura máxima desejada e resfriamento. Esses fornos caracterizam-se por baixas produções, elevado consumo de combustível e de mão de obra. São fornos onde a temperatura não é uniforme em toda a câmara, de modo que se observam diferentes graus de queima do material, em função da localização da peça durante o processo de queima. Normalmente são construídos por câmaras circulares ou retangulares, paredes e teto em forma de abóbada, todos constituídos com tijolos de alvenaria comuns (TUBINO & BORBA, 2006).

O material cru é carregado manualmente, empilhado sobre o piso, até o preenchimento de toda a câmara. Em seguida, as portas são fechadas com tijolos queimados e vedadas com argila. As fornalhas situam-se nas paredes laterais da câmara e o seu número varia com o tipo de forno. Quando há recuperação de ar para a secagem são construídos canais subterrâneos ligando o forno à chaminé e aos secadores (TUBINO & BORBA, 2006).

Ainda de acordo com os autores acima, o processo de queima inicia-se lentamente, aquecendo gradualmente todo material, evitando-se assim o aparecimento de trincas que podem surgir devido ao aquecimento brusco. A temperatura do forno deve ser elevada até a adequada para queima, onde então surge o problema de diferença de temperatura entre a zona superior e a inferior da câmara de queima do forno. Embora existam zonas de temperaturas diferentes, a leitura de temperatura deve ser efetuada sempre no mesmo ponto, garantindo que todas as queimas se processem de modo similar. Após atingir a temperatura máxima de queima inicia-se um patamar, permitindo maior uniformidade de temperatura no forno e possibilitando o processamento das reações químicas.

Esses são os tipos de fornos mais encontrados na região, em função de terem um custo inferior em relação a outros tipos de fornos.

Henriques Jr. (1993) e Más (2006), apresentam alguns modelos de fornos intermitentes: redondos (ou circulares), tipo caieira, tipo paulista (ou paulistinha), tipo plataforma e metálico sobre rodas.

4.4.1.2 Fornos Contínuos

Henriques Jr. (1993) informa que os fornos contínuos constituem-se por apresentar período de queima de forma contínua, sem interrupção para carga ou descarga. O princípio fundamental do forno contínuo é operar na mesma curva de queima todos os dias, inclusive aos fins de semana (MÁS, 2006).

Existem dois modelos de fornos contínuos mais conhecidos:

a) Forno a Túnel

Bristot (1996) e Tubino e Borba (2006) relatam que o forno a túnel de chama livre é constituído por uma longa galeria retilínea, altura relativamente pequena quando comparada ao comprimento, podendo chegar até 140 metros. O processo de queima em um forno a túnel é dividido em três seções: aquecimento, queima e resfriamento, onde o calor é reaproveitado em uma seção para outra.

b) Forno Tipo Hoffmann

De acordo com Más (2006), o primeiro forno contínuo foi criado em 1856 na Alemanha por Frederico Hoffmann, sendo a primeira vez que o pré-aquecimento do material frio era realizado por gases da zona de queima.

Neste tipo de forno, o material é fixo e o fogo é móvel. O forno é constituído por duas galerias paralelas, unidas nas extremidades por uma passagem de fogo, tendo nas laterais as portas, por onde se faz a enfora e desenfora dos produtos. O fogo é alimentado pelas boquetas, número de três ou quatro, segundo a largura da galeria e situadas na parte superior do forno (abóbada) (TUBINO & BORBA, 2006).

4.4.2 Processo Produtivo

O processo produtivo da cerâmica vermelha consiste basicamente na preparação da massa bruta “material argiloso” que passa pelos processos de homogeneização, destorroamento, desaeração, extrusão, corte da peça, secagem natural ou forçada e queima.

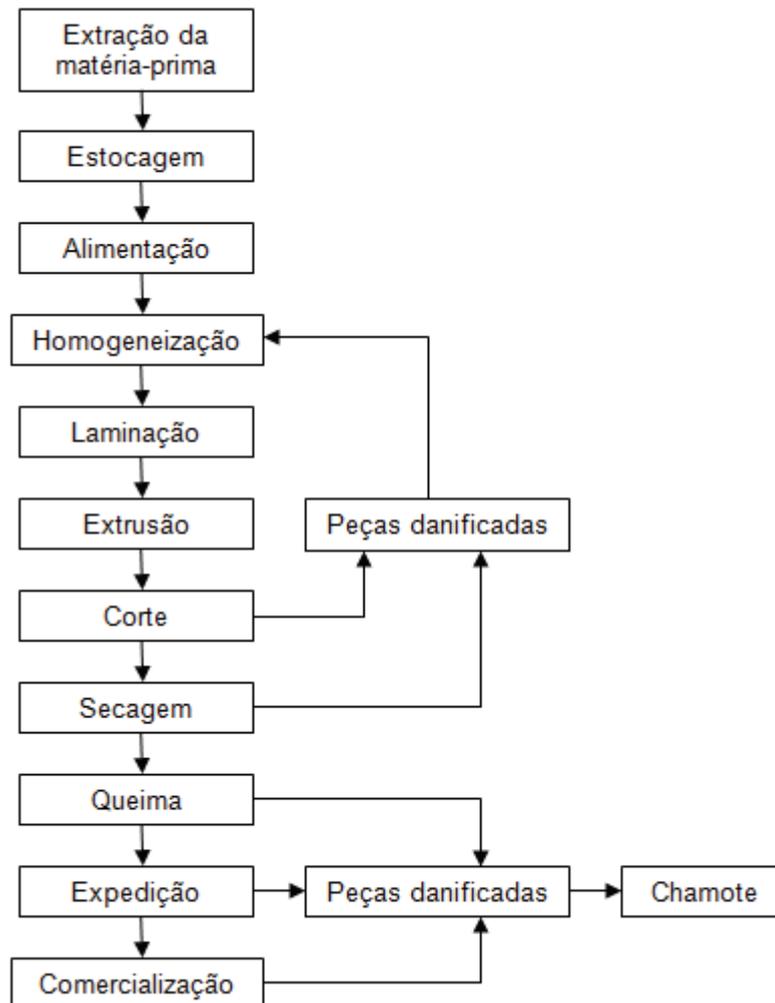
Para Verçosa (1987), a argila após a extração deve ser preparada para industrialização. Esse preparo pode ter as mais variadas formas, composições, consistência e plasticidade e a seleção dos lotes pode ser feita na própria jazida.

O processo de preparação da peça cerâmica serve para obter uma massa de argila com plasticidade uniforme e livre de torrões, de tal modo que sua extrusão forme peças com dimensões uniformes e livres de bolhas de ar. É comum a blendagem de diferentes argilas com características físico-químicas distintas visando a melhor qualidade do produto final, com menor custo industrial.

Maccari (2005) informa que o ceramista ao longo dos anos não acompanhou a evolução tecnológica. Muitas cerâmicas têm sua estrutura familiar, e seu processo industrial é passado de pai para filho.

A Figura 3 mostra um fluxograma da cadeia produtiva da cerâmica vermelha. Segundo Oliveira (2011) esse processo é comum a todas as empresas de cerâmica vermelha em geral, havendo pequenas variações, de acordo com características particulares de cada matéria-prima ou produto final. Porém, algumas empresas utilizam equipamentos rudimentares e outras com equipamentos mais modernos. No entanto, convém ressaltar que, nem todas as indústrias devem realizar seu processamento da mesma maneira ou com os mesmos equipamentos e operações indicadas.

Figura 3 - Fluxograma do processo produtivo da Cerâmica Vermelha.



Fonte: Autor (2013).

A preparação da massa é fundamental para a qualidade do produto e sua produtividade, no entanto, mesmo sendo verdadeiras, algumas cerâmicas não o fazem (OLIVEIRA, 2011).

Essa preparação pode ser feita de maneira simples, no próprio espaço do galpão, usando como dosador a concha da carregadeira ou retro escavadeira antes de iniciar a extrusão da massa cerâmica no alimentador.

A alimentação é realizada no caixão alimentador utilizando correia transportadora. Com auxílio de carregadeira, a matéria-prima é dosada (mistura das argilas mais plásticas e menos plásticas), na maioria das vezes de forma visual, e disposta em compartimento do caixão alimentador. A Figura 4 ilustra as etapas de preparação de massa.

Figura 4 - Estoque e preparação da massa para fabricação de tijolos. (A) Caminhão basculante transportando material argiloso das jazidas até as cerâmicas; (B) Pilhas de argila no interior do galpão de estocagem; (C) Etapa de preparação da massa pelo operador de retro escavadeira; (D) Caixa alimentador.



Fonte: Autor (2013).

A homogeneização é realizada com equipamento mecânico constituído por dois eixos longitudinais e pás retas distribuídas ao longo dos eixos, que têm a função de mistura, umidificação e homogeneização da argila.

No misturador, as facas intercaladas que giram em sentidos opostos cortam e desmancham os torrões inferiores a 30 cm. Na saída do misturador, ocorrem torrões de dois a três cm, tendo mistura uniforme de coloração. Caso a cor não seja uniforme, o produto apresenta retração e absorção diferente (deformações).

Na sequência, a massa cerâmica conduzida por correia transportadora segue para laminação, sendo conduzida por dois rolos cilíndricos com abertura entre 20 e 40 mm, reduzindo os possíveis torrões da massa.

O objetivo dos laminadores é esmiuçar e desagregar os grãos maiores e os torrões. Cada laminador é composto de dois cilindros que se aproximam até uma

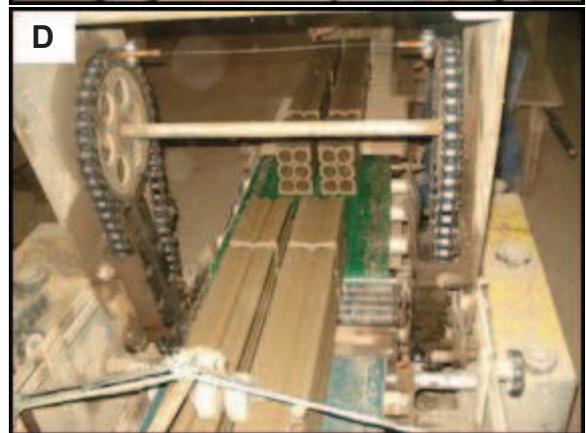
distância precisa e controlada. Os grãos maiores, acima de 1 mm, contidos na massa causam desgaste nos cilindros. A maior alimentação no centro da esteira causa desgaste na metade do cilindro. Para reduzir essa tendência, usa-se uma faca niveladora na esteira, sendo a massa distribuída ao longo do cilindro.

O material laminado segue por um transportador de correia até a “maromba”, equipamento com dupla função, sendo a primeira para remoção do ar de dentro da massa da argila por sistema de vácuo, e a segunda para comprimir e extrudar a argila. O formato obedece ao molde.

A extrusão é o processo que dá forma a um produto cerâmico através da passagem da massa cerâmica (plástica, ou semifirme), pela abertura, na seção transversal do objeto extrudado. A obtenção de produtos pelo processo de extrusão consiste em compactar uma massa plástica em uma câmara de alta pressão equipada com sistema de desaeração (vácuo), contra um molde (boquilha) de formato desejado.

A primeira condição para obter bom resultado na extrusão é garantir que o material a ser conformado apresente as mínimas variações possíveis, tanto na composição (plasticidade), como na preparação (granulometria) e teor de umidade. A etapa do cortador é a última, e consiste na fabricação do tijolo cru antes da secagem e queima. Após sair da maromba, o grande filete de tijolo passa pelo cortador que define o tamanho dos tijolos e tavelas, sendo movimentado por um pequeno motor de 1 cv. A Figura 5 ilustra o processo na fase da maromba até o empilhamento para secagem.

Figura 5 - Equipamento Maromba (extrusora) que modela a massa cerâmica dando formato às peças (A a D); Disposição das peças cruas para secagem (E a H).



Fonte: Autor (2013).

O processo de secagem depende principalmente de fatores climáticos. Depois de saída da máquina, é deslocada manualmente às prateleiras ou aos tróles, para secagem até o ponto ideal para ser levada ao forno. As peças cruas não podem estar úmidas para queima, pois a umidade retida na massa afeta a qualidade do produto final. Algumas cerâmicas usam estufa, onde é aproveitado o calor do forno após queima, acarretando na secagem forçada das peças. Após secagem, são transportadas manualmente para os fornos. Essa é a última etapa no processo de produção das peças cerâmicas.

O consumo do combustível varia de acordo com o forno utilizado. Em fornos tipo garrafão, o combustível é queimado sobre grelhas em fornalhas e o calor é conduzido até o teto do forno de onde é succionado para baixo, atravessando o material a ser cozido, enquanto a fumaça é eliminada pelas chaminés que são interligadas por dutos inferiores. Normalmente o ciclo do forno dura de quatro a cinco dias, do carregamento até a retirada do material (PROGESC, 1995).

Para a produção cerâmica se concretizar, além da argila, se faz necessária a utilização de insumo energético na queima dos produtos cerâmicos. A lenha e o carvão são os principais insumos energéticos utilizados pelas cerâmicas na queima de seus produtos (MACCARI, 2005).

É possível considerar a queima como a fase principal do processamento cerâmico, uma vez que nesta etapa os custos envolvidos são maiores e a qualidade do produto é adquirida em maior escala. O objetivo básico da queima é fornecer calor para que ocorram reações e transformações físico-químicas nos componentes da massa. Além da temperatura fornecida, outro fator importante é o tempo de exposição da cerâmica a cada temperatura (MULLER, 1990), no qual também influi a velocidade de aquecimento, de resfriamento, atmosfera ambiente, tipo de forno e combustível utilizado.

Após o processo de queima, o forno ainda carregado é resfriado, de forma forçada, com ventiladores e exaustores, e é descarregado manualmente, sendo o produto final empilhado no galpão ou pátio até a expedição e posterior comercialização.

5 METODOLOGIA

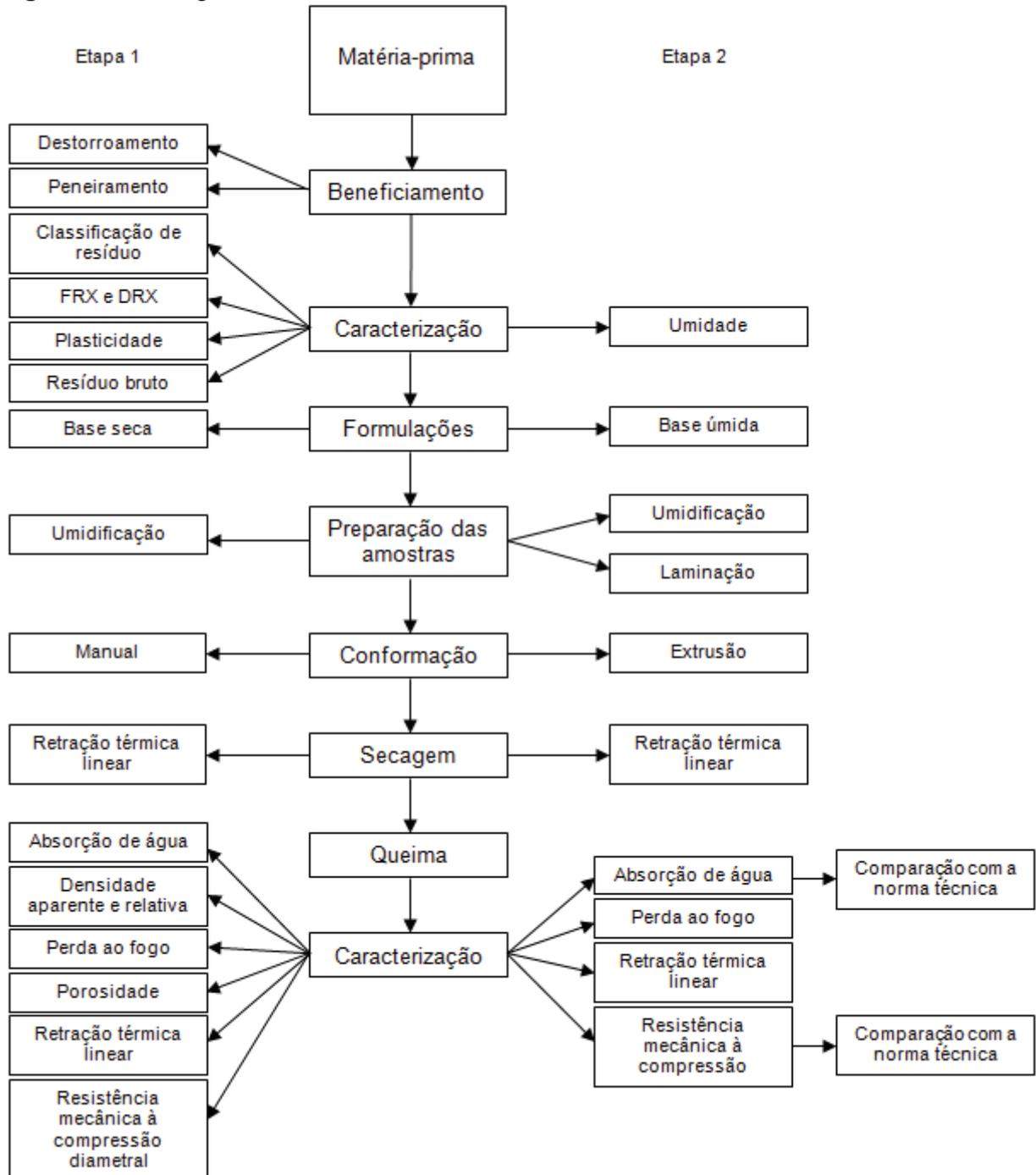
Neste capítulo são apresentadas as etapas de desenvolvimento dos corpos-de-prova, análises laboratoriais e ensaios de qualidade.

Os ensaios de caracterização física, química e mineralógica bem como as formulações e processamento dos corpos-de-prova foram realizados no Instituto Maximiliano Gaidizinsk (IMG), no Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT), no Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM, do SENAIsc em Criciúma, no Laboratório de Cerâmica Vermelha (LABCER) do Sindicato de Cerâmica Vermelha (SINDICER), este último localizado em Morro da Fumaça.

As atividades desenvolvidas estão esquematicamente demonstradas no fluxograma apresentado na Figura 6. Os corpos-de-prova identificados na Etapa 1 correspondem às bolachas cerâmicas, enquanto que na Etapa 2 em pequenos blocos de vedação.

A matéria-prima corresponde às Argilas (A e B) e o resíduo cerâmico “chamote”.

Figura 6 - Fluxograma das atividades desenvolvidas.



Fonte: Autor (2013).

5.1 COLETA DE AMOSTRAS E BENEFICIAMENTO

a) Argilas (A e B)

Foram utilizados dois tipos de argilas (Argilas A e B) no experimento laboratorial. As mesmas foram cedidas em uma indústria cerâmica vermelha localizada em Morro da Fumaça, SC. A coleta foi realizada diretamente do estoque

da cerâmica, onde a princípio foram retirados em torno de 100 kg de cada argila, de cinco pontos diferentes. Essas amostras passaram pelo processo de quarteamento, homogeneizadas e reduzidas para um volume de aproximadamente 90 kg da Argila A, e 60 kg da Argila B, para ensaios laboratoriais. A "Argila A" constituiu um número maior de blocos (torrões), o que necessitou a desintegração mecânica com auxílio do laminador modelo 500 da marca Natreb, da própria cerâmica, antes de ser encaminhada ao LABCER.

b) Resíduo “chamote”

O resíduo foi obtido na mesma cerâmica cujas argilas foram cedidas. É importante ressaltar que o produto passou por uma condição de queima entre 800 e 900 °C, onde é difícil ter uma base exata, por falta de equipamentos que meçam temperatura. A coleta das peças danificadas ocorreu após a descarga de um dos fornos industriais e para atender à NBR 10007:2004 item “3.1.3.4 - Ponto de Amostragem”, após a limpeza desse forno, todas as peças descartadas foram encaminhadas a um local livre de contaminação externa e obedeceram aos pontos de amostragem como determinado na tabela “A.4.” da norma em questão. Após coletadas e acondicionadas em sacas de ráfia, as amostras do resíduo foram desagregadas com auxílio de um socador (com aproximadamente 1 metro de altura). Para fragmentar as amostras, foi utilizado um laminador modelo 500 da marca Natreb, antes de serem enviadas ao laboratório do LABCER. No laboratório, o material foi peneirado com auxílio de uma peneira aro Ø 55 cm, e abertura da malha de 1,45 mm.

5.2 CARACTERIZAÇÕES DAS AMOSTRAS

5.2.1 Caracterização Física, Química e Mineralógica

a) Caracterização Física

A análise granulométrica foi realizada através da Distribuição Granulométrica por peneiramento no Laboratório Técnico do Instituto Maximiliano Gaidizinsk (IMG), em Cocal do Sul, SC. Usou-se uma série de peneiras ordenadas da maior para menor abertura de malha: 32 mesh (500 µm), 35 mesh (422 µm), 48 mesh (297 µm), 65 mesh (211 µm), 120 mesh (125 µm) e 200 mesh (75 µm).

b) Caracterização Química

Foram feitas análises químicas por Espectrometria de Fluorescência de Raios x e Espectrometria de Absorção Atômica das argilas (A e B) e do rejeito (chamote), ensaios realizados segundo os procedimentos: PR-CRI-097, PR-CRI-098 e PR-CRI-103, no Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais (LDCM), do SENAIsc em Criciúma, que realiza análises químicas através do Espectrômetro de Raios X marca Philips modelo PW 2400 por dispersão de comprimento de onda (WDXRF). O anexo B apresenta o relatório de ensaio realizado para obtenção das análises química.

c) Caracterização Mineralógica

A determinação das fases cristalinas foi realizada por Difração de Raios X, das argilas (A e B) e do rejeito (chamote), este ensaio foi realizado segundo procedimento (PR-CC-191). A quantificação das fases cristalinas foi feita pelo método de Rietveld com GOF: 1,23 e Rwp: 25,73, no Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais (LDCM), do SENAIsc em Criciúma. O equipamento utilizado no ensaio foi um Difratorômetro Bruker - D8 com goniômetro - θ com radiação $K\alpha$ em tubo de cobre nas condições de 40 kV e 40 mA. A velocidade e o intervalo de varredura do goniômetro são 1 grama de pó a 1 segundo para $0,02^\circ$ do goniômetro de 2° a $72^\circ 2\theta$, respectivamente. O anexo C apresenta o relatório de ensaio da determinação das fases cristalinas.

5.2.2 Classificação do Resíduo “Chamote”

A classificação do resíduo (chamote) foi realizada no Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes Químicos do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT), no Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE), pertencente à UNESC baseada na metodologia de “SW 846 (USEPA 1986), Test Method for Evaluating Solid Waste Report Number SW-846, Washington, DC” e as referências: NBR 10004:04 - Classificação de Resíduos Sólidos; NBR 10005:04 - Ensaio de Lixiviação; NBR 10006:04 - Ensaio de Solubilização; e NBR 10007 - Amostragem de Resíduos. O anexo A apresenta o relatório de ensaio da caracterização e classificação do resíduo.

5.3 MÉTODOS

5.3.1 Preparação das Amostras

Na Etapa 1, as matérias-primas (argilas e resíduo), foram secas em estufa (com resistência elétrica, marca DeLeo n° 2211, tipo: 8) a 100 ± 10 °C e laminadas (em um laminador de escala laboratorial da marca Bertan) a fim de homogeneizar e destorroar partículas mais grosseiras. Em seguida foi realizada a pesagem auxiliado por balança com 0,1 g de precisão (Modelo AC 10K , Marca Marte) e dosagem das mesmas com posterior umidificação para conformação manual das peças. A umidificação teórica das amostras para encontrar a plasticidade ideal da formulação, foi realizada pela média ponderada. As massas formuladas sofreram um descanso de 24 h para homogeneização da umidade.

Na Etapa 2, as matérias-primas foram dosadas *in natura*, conforme o percentual (padrão e 20%) determinado na primeira etapa para cada formulação. Estas foram umidificadas, sofrendo um descanso de 24 h, seguido da etapa de laminação.

5.3.2 Formulação das Composições

Foi elaborada uma Amostra Padrão (STD) e quatro outras formulações utilizando massa de cerâmica vermelha (Argilas A e B) em diferentes percentuais associados ao resíduo “chamote”. Além da amostra padrão optou-se por analisar na Etapa 1, 100% da Argila A e 100% da Argila B visando a comparação destas duas argilas com a amostra padrão e as demais composições.

A formulação da massa cerâmica (Argilas A e B) foi desenvolvida baseada no percentual utilizado na Indústria que forneceu as argilas, sendo que os teores de resíduo “chamote” foram incorporados na massa cerâmica em percentuais de 5, 10, 15 e 20%.

Todas as amostras foram caracterizadas quanto à retração de secagem, retração de queima, perda ao fogo, densidade aparente, densidade relativa, porosidade, absorção de água e resistência mecânica à compressão diametral pós queima. O resíduo bruto foi realizado apenas nas argilas. As formulações foram feitas em base seca e encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Composições da massa cerâmica com o resíduo incorporado.

Matéria-Prima	Formulações (%massa)						
	Arg A	Arg B	STD	F1	F2	F3	F4
Argila A	100	-	60	57,5	55	52,5	50
Argila B	-	100	40	37,5	35	32,5	30
Chamote	-	-	-	5	10	15	20
Total	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: Autor (2013).

Para a Etapa 2, apenas duas composições da Etapa 1 foram usadas, STD e F4, porém estas foram preparadas em base úmida. Primeiro obteve-se o teor de umidade residual (Tabela 3) de cada matéria-prima e depois se calculou a quantidade de matéria-prima *in natura* necessária a ser misturada, juntamente com a quantidade de água a ser adicionada para o teor de umidade adequado, indicando um índice de deformação plástica ideal.

Descoberta a umidade ideal de cada argila através do índice de deformação, aplicaram-se esses valores na equação da média ponderada (Equação 1 - Apêndice A), onde visa descobrir a quantia de água que se deve adicionar para cada um dos diferentes percentuais de chamote.

Tabela 3 - Umidade *in natura* das matérias-primas.

Unidade em Gramas (g)	Matérias-Primas		
	Argila A	Argila B	Chamote
Massa Úmida	500	500	500
Massa Seca	377	393,2	439,5
Umidade <i>in natura</i> (%)	24,6	21,36	12,10

Fonte: Autor (2013).

Após obter o teor de umidade das matérias-primas, as formulações foram recalculadas, considerando-se a quantidade de água presente nas matérias-primas.

As duas formulações foram caracterizadas quanto à retração de secagem, retração de queima, perda ao fogo, resistência mecânica à compressão pós queima e absorção de água e avaliadas comparativamente às normas técnicas vigentes adotadas pela ABNT para blocos de vedação. A Tabela 4 apresenta as formulações desenvolvidas.

Tabela 4 - Formulações realizadas na Etapa 2.

Matéria-Prima	Formulações (g)	
	STD	F4
Argila A	12.686,4	10.572,0
Argila B	8.360,4	6.270,3
Chamote	-	5.274,0
Água	6.991,2	6.338,4
Água Adicionada	1.962,0	1.545,3
Total	30 000,0	30 000,0

Fonte: Autor (2013).

5.3.3 Preparação dos Corpos-de-prova

Após o período de homogeneização das massas formuladas, deu-se início ao processo de confecção dos corpos-de-prova.

Na Etapa 1 os corpos-de-prova foram preparados manualmente em formato cilíndrico com auxílio de um molde de PVC com diâmetro aproximado de 35 mm e 16 mm de altura. O processo consistiu em, após o tempo de descanso, na homogeneização manual da massa até atingir o ponto de trabalhabilidade. Primeiro se passou desmoldante nas paredes internas do molde e na sequência a massa foi conformada, tirando o excesso e posteriormente removida do tubo de PVC, no formato do corpo-de-prova. A Figura 7 mostra os utensílios utilizados neste processo.

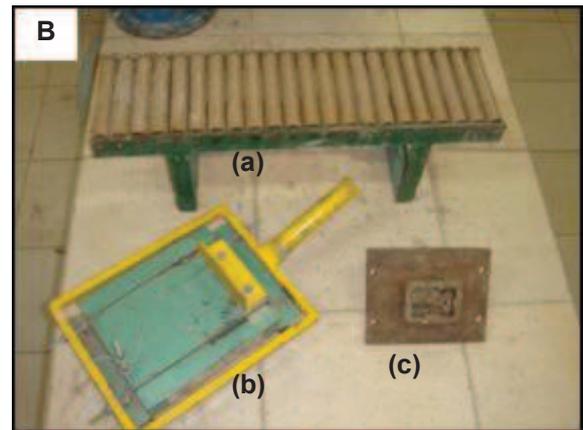
Figura 7 - Utensílios usados na fabricação dos corpos-de-prova da Etapa 1.



Fonte: Autor (2013).

Na Etapa 2, as massas laminadas passaram pelo processo de extrusão. A extrusão (extrusora laboratorial da marca Natreb) consistiu em passar, num primeiro momento, toda a massa pelo equipamento sem que a câmara de vácuo estivesse em funcionamento, com o objetivo de garantir uma boa homogeneização da massa cerâmica. Este processo se repetiu por dois ciclos. Posteriormente, a câmara de vácuo foi acionada e a massa foi extrusada em uma pressão de vácuo que variou entre 0,5 a 0,84 atm. Para a saída da peça, utilizou-se uma mesa transportadora com rolos de madeira, de escala piloto, até atingir um tamanho ideal em que o tarugo formado pudesse ser cortado, obtendo assim, os corpos-de-prova nas dimensões desejadas. Os equipamentos utilizados nesta etapa estão mostrados na Figura 8.

Figura 8 - Equipamentos utilizados na conformação dos corpos-de-prova na Etapa 2. (A): extrusora em escala piloto; (B): (a) mesa transportadora; (b) cortadeira manual; (c) boquilha.



Fonte: Autor (2013).

5.3.4 Tratamento Térmico

O tratamento térmico na cerâmica é uma das principais etapas do processo industrial, onde se deve manter o máximo de controle possível, pois os defeitos se tornam mais susceptíveis. Para ambas as etapas (1 e 2), a secagem e a queima foram realizadas da mesma forma.

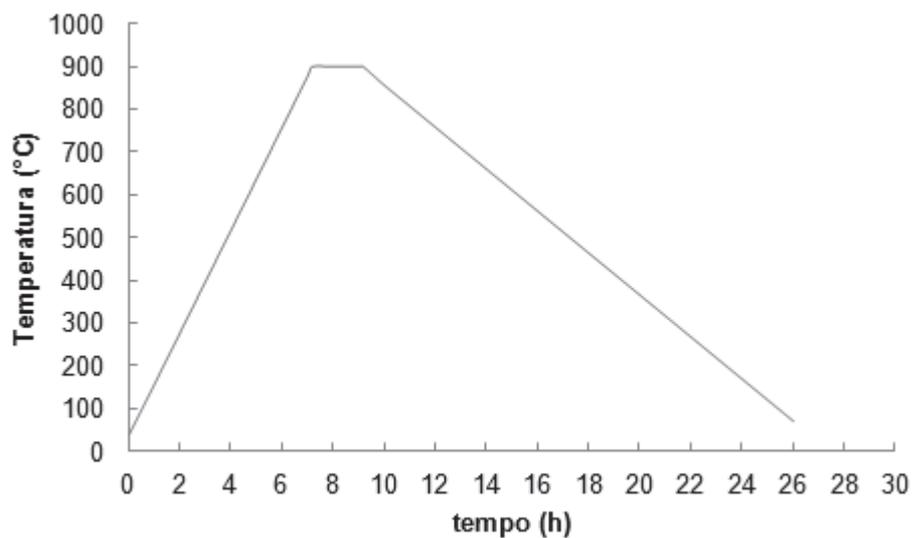
Após a conformação dos corpos-de-prova, as peças ficaram em repouso em secagem natural por 24 h. Em seguida foram levadas em estufa (com resistência elétrica, marca DeLeo nº 2211, tipo: 8) a uma temperatura de 100 ± 10 °C por mais 24 h. Após a etapa de secagem, as amostras foram levadas para serem queimadas

no forno (com resistência elétrica, Modelo J200, Marca Jung), nas condições citadas abaixo, cuja curva de queima, é ilustrada pela Figura 9.

- Taxa de aquecimento de 2 °C/min;
- Temperatura de queima de 900 °C;
- Tempo de patamar de 2 horas.

Essas condições foram adotadas como padrão laboratorial, já que a empresa não contém base de temperatura.

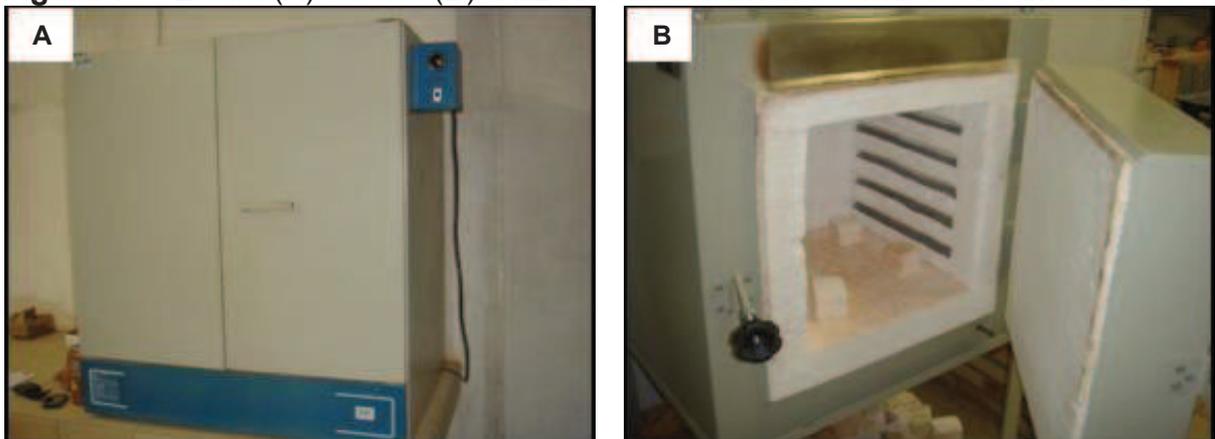
Figura 9 - Curva de queima.



Fonte: Autor (2013).

O resfriamento ocorreu com o desligamento do forno após atingir o tempo de patamar pretendido. Os equipamentos utilizados nesta etapa se encontram na Figura 10.

Figura 10 - Estufa (A) e forno (B) utilizados no tratamento térmico das amostras.



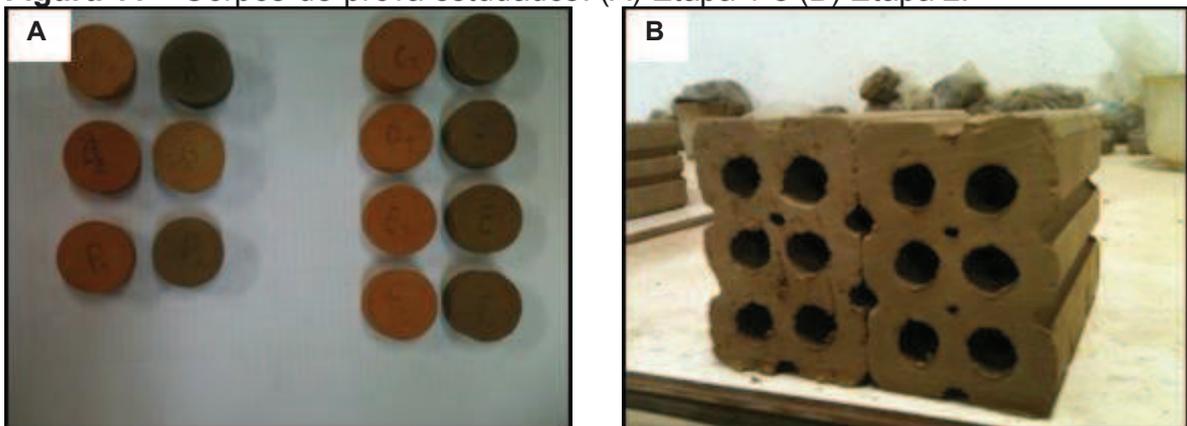
Fonte: Autor (2013)

5.4 TESTES DE QUALIDADE

Os testes de qualidade têm o intuito de provar qual o comportamento de cada formulação e das argilas diante das mais variadas ocasiões na qual o produto cerâmico vem a passar. Para a Etapa 1 os corpos-de-prova têm um formato singular (Figura 11A) para melhor compreensão dos resultados. Para essa Etapa foram selecionados 20 corpos-de-prova, nos quais passaram por pesagem e medição a fim de determinar ensaios de qualidade (retrações térmicas lineares de secagem e de queima, perda ao fogo). Dessas 20 peças, 6 foram selecionados para realizar testes de absorção de água, densidades e porosidade, e outras 10 foram para testes de resistência à compressão diametral.

Na Etapa 2, o objetivo era simular o comportamento dos corpos-de-prova em escala industrial, justificando assim, o modelo do corpo de prova adotado (Figura 11B). Visando a comparação de resultados da amostra padrão (STD) com a formulação 4, selecionaram-se 20 peças, e repetiu-se o procedimento dos testes de qualidade adotado na Etapa 1 (retração de secagem e de queima e perda ao fogo), sendo que seis (6) peças foram utilizadas para teste de absorção de água. Além disso, 10 peças foram separadas e capeadas (com revestimento de cimento nos topos, conforme a Figura 14) visando à realização de teste de resistência mecânica.

Figura 11 – Corpos-de-prova estudados. (A) Etapa 1 e (B) Etapa 2.



Fonte: Autor (2013)

5.4.1 Umidade

O teor de umidade é considerado a quantidade de água higroscópica, ou adsorvida, presente na massa, que confere sua plasticidade. A saída dessa água

ocorre por intermédio da ação do calor em temperaturas acima de 100 °C. A umidade se calcula em percentuais através de medidas de massa seca e massa úmida por meio da Equação 2 (Apêndice A). Este procedimento foi realizado apenas na Etapa 2.

5.4.2 Plasticidade

A plasticidade descreve uma particularidade das argilas, que são as matérias-primas principais da cerâmica vermelha. Para compreender melhor, Riella (2010) coloca que as argilas são materiais compostos de caulinita e outros argilominerais com percentuais variados de illita e esmectita, possuindo também um conteúdo sem percentual definido de quartzo, feldspato e matéria orgânica. Na massa cerâmica a composição desses é responsável por fornecer plasticidade, trabalhabilidade, resistência mecânica e refratariedade. A plasticidade desses materiais é também o que proporciona a conformação dos corpos cerâmicos.

De acordo com Ribeiro *et al.*, (2003) “quando se trata de avaliar a adaptação de uma massa plástica a determinado processo de conformação, o termo *trabalhabilidade* é usado frequentemente como sinônimo de *plasticidade*”.

Em outros termos, vale mencionar que a plasticidade é o que deixa a argila fisicamente apta para dar forma às peças quando moldadas.

Figura 12 - Plasticímetro do Laboratório Técnico do IMG, utilizado para avaliação do teor de plasticidade das Argilas A e B.



Fonte: Autor (2013).

O teste foi realizado no Laboratório Técnico do IMG em Cocal do Sul, SC e o método escolhido para avaliar o teor de plasticidade da massa foi o de *Pfefferkorn*, que consiste em obter uma deformação de 30% dos corpos-de-prova com auxílio de um plasticímetro (Figura 12), que define o percentual de água ideal da matéria-prima. Este método consistiu em preparar 300 g de massa seca das argilas A e B com diferentes teores de umidade, sendo para a argila A os percentuais de 24, 26, 28 e 30%, e na argila B os percentuais 26, 28, 30 e 32%. A deformação plástica foi obtida através da Equação 3 (Apêndice A). Este procedimento foi realizado apenas na Etapa 1 com as Argilas A e B.

5.4.3 Resíduo Bruto

Resíduo bruto é a porção de material que não pode ser desagregado sem o auxílio de alguma ferramenta ou método de cominuição. Para realização deste ensaio as amostras foram secas em estufa a 100 ± 10 °C por 24 h. Depois da secagem foram pesadas 100 g de cada argila e diluídas em água até formar uma solução aquosa, seguido de repouso por 24 h para desagregação dos grãos. Em seguida estes materiais foram passados por uma peneira de 200 mesh (75 μ m). A quantidade de amostra retida na peneira foi passada para bandejas metálicas utilizando água em retro lavagem e seca em estufa por 24 h. O cálculo de resíduo bruto foi realizado através da Equação 4 (Apêndice A). Este procedimento foi realizado apenas na Etapa 1 com as Argilas A e B.

5.4.4 Retração Térmica Linear de Secagem

A retração linear de secagem é a variação dimensional que o corpo-de-prova sofre devido à saída de água durante o processo de secagem. O ensaio consiste em medir as unidades de comprimento com a peça crua e depois com ela seca, com auxílio de um paquímetro (com 0,02mm de resolução, modelo 125 MEA, Marca Starret) com resolução adequada.

Na Etapa 1, as unidades de comprimento foram padronizadas em 30 mm (com auxílio do paquímetro) após a conformação das peças e após secagem mediu-se a retração ocorrida nos pontos marcados.

Na Etapa 2, o comprimento dos corpos-de-prova foi medido após etapa de extrusão e secagem das peças.

Os valores de retração de secagem foram obtidos através da Equação 5 (Apêndice A).

5.4.5 Retração Térmica Linear de Queima

A retração linear de queima é a variação dimensional que o corpo-de-prova sofre devido à saída de gases de decomposição e densificação do material. O ensaio consiste em medir as unidades de comprimento da peça seca e depois com ela queimada, com auxílio de um paquímetro com resolução adequada.

Na Etapa 1, as unidades de comprimento finais foram obtidas nos pontos que foram marcados com paquímetro, na etapa de conformação como descrito na seção anterior. Na Etapa 2, o comprimento final dos corpos-de-prova foi medido após a etapa de queima.

Os valores de retração de queima foram obtidos através da Equação 6 (Apêndice A).

5.4.6 Densidade Aparente e Relativa

O ensaio de densidade aparente foi baseado no princípio de Arquimedes, podendo ser descrito basicamente como sendo o volume de um líquido (em estado de equilíbrio) deslocado em virtude da imersão, total ou parcial, de um corpo, que corresponde ao próprio volume do corpo. As forças atuantes sobre os corpos foram chamadas de empuxo.

Através da imersão de corpos-de-prova (saturados com água devido aos poros presentes na amostra, pois, de outra forma os resultados não seriam representativos) em água obteve-se o valor correspondente ao volume do corpo. Pode-se visualizar na Figura 13 o aparato desenvolvido pelo LABCER para realização deste ensaio. A Equação 7 (Apêndice A) foi usada para determinação da densidade aparente das formulações. Este procedimento foi realizado apenas na Etapa 1.

Para determinar o valor da densidade relativa do material foi necessário utilizar os resultados da densidade aparente e densidade teórica, porém estes dados

não foram apresentados nesse trabalho, pois o interesse maior está relacionado na porosidade. A Equação 8 (Apêndice A) foi usada para determinação da densidade relativa a partir do resultado da densidade aparente. Este procedimento foi realizado apenas na Etapa 1.

Figura 13 - Aparato utilizado para cálculo de densidade aparente.



Fonte: Autor (2013).

5.4.7 Perda ao Fogo

A perda ao fogo corresponde à quantidade de material que volatilizou em virtude das decomposições que ocorreram durante as etapas de aquecimento e queima no forno. Consiste em pesar os corpos-de-prova secos e depois de queimados, sendo que após a queima, são resfriados em temperatura ambiente. Para definição dos resultados foi utilizada a Equação 9 (Apêndice A).

5.4.8 Absorção de Água

A absorção de água ocorre devido a forças de capilaridade quando a amostra é imersa em água. A água penetra na peça ocupando os espaços abertos, os poros, gerando um ganho de massa, definido em percentual. A absorção de água é determinada através da diferença entre a massa seca e a massa úmida do corpo-de-prova.

O ensaio consiste em pesar a amostra seca, e depois submetê-la em banho de imersão, podendo ser realizada de duas maneiras: banho em água fria por 24 horas ou banho com água em ebulição por 2 horas. Após o banho retira-se o excesso de umidade com o auxílio de um pano umedecido. Os valores de absorção de água foram obtidos utilizando a Equação 10 (Apêndice A).

5.4.9 Porosidade Aparente

A porosidade aparente dos corpos-de-prova é definida como o percentual volumétrico de porosidade aberta existente na amostra. O cálculo para determinar a porosidade aparente foi realizado com o auxílio da Equação 11 (Apêndice A). Este procedimento foi realizado apenas na Etapa 1.

Através do microscópio, foi possível observar a porosidade dos corpos-de-prova “manuais” (STD e F4). Essa verificação foi realizada no Laboratório de Microscopia do IDT - Instituto de Engenharia e Tecnologia localizado no IPAT, em um Microscópio BX41M-LED da marca Olympus. Os procedimentos de preparação dos corpos-de-prova foram realizados no Laboratório de Metalografia, também no IDT, e o equipamento usado foi uma Politriz Lixadeira Metalografica tipo PL02E da marca Teclago. Os corpos-de-prova foram submetidos à preparação com lixas 100, 200, 300, 400, 500, 600 e 1200.

5.4.10 Resistência Mecânica à Compressão Diametral

O ensaio de compressão diametral também é conhecido como ensaio de resistência à tração indireta (CARMONA *et al.*, 2005) e foi utilizado somente na caracterização das amostras da Etapa 1 para efeito de comparação.

O ensaio consiste no carregamento de amostras cilíndricas em uma máquina universal de ensaios modelo DL-20000, marca EMIC, apoiada em duas placas rígidas paralelas entre si, marcando dois pontos extremos. A carga de ruptura acontece de forma contínua e gradativa ao longo do plano vertical diametral até o rompimento do corpo-de-prova, conectando os dois pontos de contato. A obtenção dos valores de resistência à compressão diametral é calculada através da Equação 12 (Apêndice A).

5.4.11 Resistência Mecânica à Compressão

O ensaio de resistência mecânica à compressão foi realizado com base na NBR 15270-03:2005, com ressalva a dois pontos da norma: A norma pede que se realize esse teste em 13 peças com tolerância de duas fora do padrão estabelecido de 1,5 MPa, mas para uma escala laboratorial, conforme orientação do LABCER resolveu-se fazer ensaios em 10 corpos-de-prova e com tolerância de uma fora da norma; e as peças não foram para os testes de compressão após 24 h de repouso em água conforme a norma, também por orientação do laboratório.

Consiste em proceder a preparação prévia dos corpos-de-prova com capeamento (Figura 14) e ensaiados em máquina universal de ensaios modelo DL-20000, marca EMIC para avaliar a carga de ruptura.

Figura 14 - Detalhe das peças capeadas conforme NBR 15270-3:2005.



Fonte: Autor (2013).

A máquina universal de ensaios possui um sistema computacional acoplado ao êmbolo, onde é possível verificar a força submetida no corpo-de-prova até seu rompimento. O software calcula a resistência mecânica através da Equação 13 (Apêndice A). O anexo D traz o relatório de ensaio da compressão dos tijolos STD e F4 usados na Etapa 2, onde tal procedimento foi realizado.

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos resultados apresentados neste capítulo foram divididas em quatro partes: i) Caracterização das amostras e classificação do resíduo “chamote”; ii) Análise e discussão dos resultados dos testes laboratoriais (Etapas 1 e 2); iii) Proposição de ajustes no processo industrial para aplicação do resíduo “chamote”; iv) Estimativa de custos de equipamentos para produção em escala industrial.

6.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

6.1.1 Caracterização Física, Química e Mineralógica

6.1.1.1 Caracterização Física

a) Umidade

O teor de umidade ideal foi calculado através da fórmula da média ponderada, onde se usaram as umidades encontradas no plasticímetro, das argilas A e B. Verificam-se na Tabela 5 os valores da altura inicial e final (valores obtidos em uma média de cinco corpos-de-prova para cada percentual), bem como suas respectivas deformações em diferentes percentuais de umidade, obtidos no método *Pfefferkorn*.

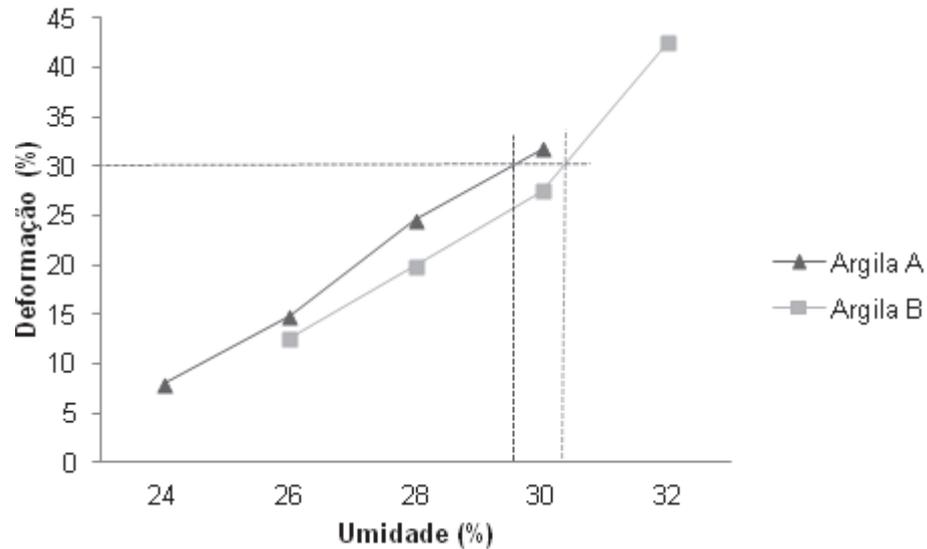
Tabela 5 - Valores obtidos no ensaio de plasticidade para as argilas A e B.

Argila	U (%)	h_i (mm)	h_f (mm)	ϵ (%)
A	24	40	36,79	7,95
	26	40	34,09	14,77
	28	40	30,21	24,47
	30	40	27,31	31,72
B	26	40	34,97	12,77
	28	40	31,64	15,90
	30	40	29,02	27,45
	32	40	22,97	42,57

U: Umidade; h_i : Altura inicial; h_f : Altura final; ϵ : Percentual de deformação no corpo de prova.

A Figura 15 apresenta a curva de plasticidade ideal para cada tipo de Argila. De acordo com Ribeiro, Ferreira e Labrincha (2003), na deformação de 30 %, obtêm-se um índice de plasticidade ideal. Na Argila A os resultados indicam uma deformação de 29,50%, enquanto na Argila B de 30,34%.

Figura 15 - Gráfico da curva do índice de plasticidade.

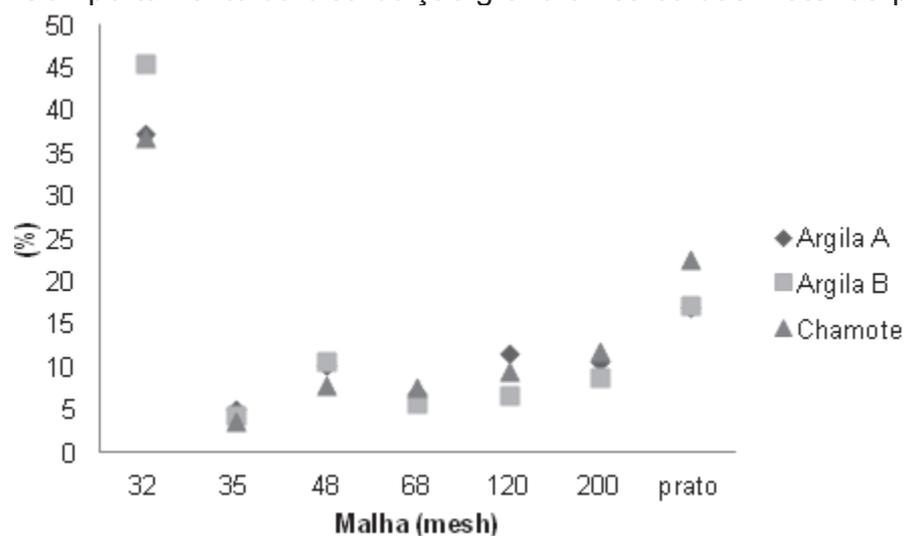


Fonte: Autor (2013).

b) Distribuição Granulométrica

A análise granulométrica foi realizada no chamote, a fim de se verificar a distribuição dos grãos de acordo com as condições de beneficiamento a qual esse material foi submetido e nas argilas A e B, a fim de se conhecer a estrutura granulométrica dessas matérias-primas. A Figura 16 ilustra a distribuição dos grãos em função das diferentes peneiras, na qual pode se observar a similaridade entre as matérias-primas.

Figura 16 - Comportamento da distribuição granulométrica das matérias-primas.



Fonte: Autor (2013).

c) Resíduo Bruto

Com intuito de descobrir qual percentual de resíduo é contido na argila, fez-se o ensaio com uso da peneira malha 200 mesh (75 μm). Na Tabela 6, é possível observar tal percentual, encontrado nos resíduos que foram retidos.

Tabela 6 - Valores do resíduo bruto, retidos em peneira malha 200 mesh (75 μm).

Matéria-Prima	Resíduo (%)
Argila A	9,0
Argila B	5,5

Apesar de conter mais resíduo, não influencia no fato da Argila A ser mais plástica que a B. Oliveira (2011), informa que o resíduo contido na argila é tão importante quanto a distribuição granulométrica e o tamanho dos grãos argilosos, pois determina a qualidade do produto, dimensões, resistência mecânica, absorção de água, velocidade de extrusão, secagem e queima.

6.1.1.2 Caracterização Química

A Tabela 7 mostra os valores de Fluorescência de Raios-x nas argilas A e B e no resíduo “chamote”.

De forma semelhante nos trabalhos desenvolvidos por Gouveia e Sposto (2009), as três amostras analisadas apresentam sílica (SiO_2) com maior percentual. Posteriormente, verifica-se ocorrência de alumina (Al_2O_3) e a hematita (Fe_2O_3) com percentuais aproximados entre as amostras. Observou-se ainda baixa concentração de óxidos alcalinos (K_2O e Na_2O) e alcalinos terrosos (MgO e CaO); estes teores também foram constatados em baixa quantidade nos estudos de Gouveia e Sposto (2009).

Com relação à perda ao fogo, o baixo percentual encontrado na amostra de chamote em relação às argilas, se justifica em função do processo de queima. De modo geral, constata-se similaridade das três amostras quanto aos resultados das análises químicas, uma vez que o chamote, não deixa de ser argila. Quando se comparam os resultados obtidos deste trabalho com a incorporação de outros resíduos na massa cerâmica, tais como o lodo galvânico, citado no estudo de Teloeken *et al.* (2012), tal similaridade não é encontrada.

Importante destacar que algumas argilas possuem pequenas concentrações de bário, o que justifica o percentual encontrado nos resultados do chamote. O fato desse não ter sido encontrado nas argilas pode ser explicado na matéria-prima estudada, não ser a mesma na qual originou o resíduo, uma vez que há muita rotatividade de material, para o processo de fabricação das peças.

Tabela 7 - Análise química das argilas e do chamote, em %.

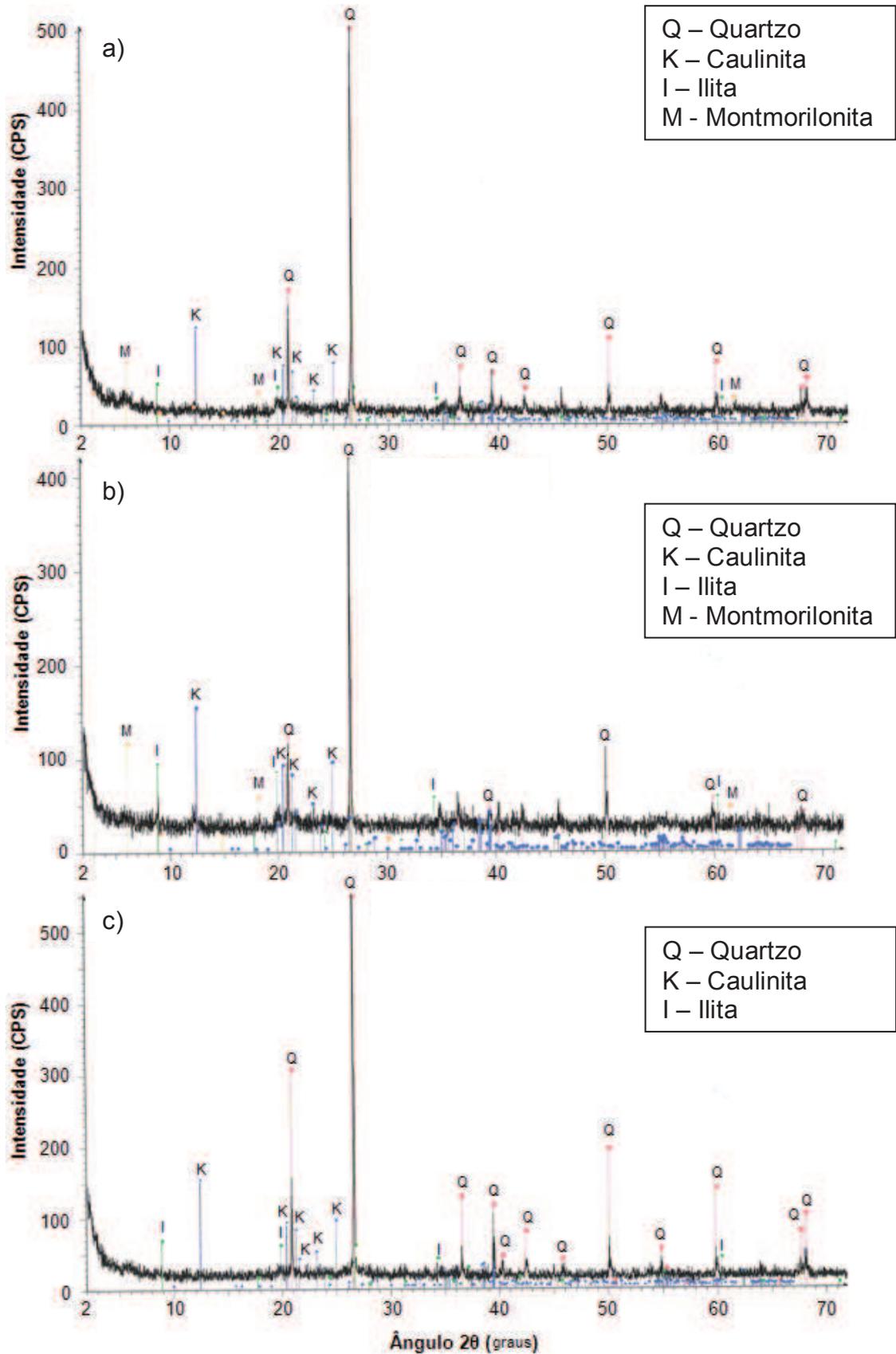
Elementos	Amostras - Teor (%)		
	Argila A	Argila B	Chamote
SiO ₂	70,66	69,29	72,92
Al ₂ O ₃	15,60	18,52	16,82
CaO	0,15	0,08	0,17
Fe ₂ O ₃	3,92	8,87	5,02
K ₂ O	1,24	2,48	1,58
MgO	0,43	0,67	0,49
MnO	<0,05	<0,05	<0,05
Na ₂ O	0,20	0,09	0,28
P ₂ O ₅	<0,05	0,09	0,06
TiO ₂	1,02	0,96	1,00
BaO	-	-	0,17
Co ₂ O ₃	-	-	<0,1
Cr ₂ O ₃	-	-	<0,1
PbO	-	-	<0,1
SrO	-	-	<0,1
ZnO	-	-	<0,1
ZrO ₂ +HfO ₂	-	-	<0,1
Perda ao fogo	6,70	5,88	1,45

Fonte: SENAlsc (2013), adaptado pelo autor (2013)

6.1.1.3 Caracterização Mineralógica

Os óxidos dos elementos químicos mostrados na Tabela 7, em sua forma mais estável, estão presentes nas fases cristalinas identificadas no difratograma de raios X da Figura 17 (a), (b) e (c). Pode-se observar que as argilas A e B apresentam majoritariamente as seguintes fases cristalinas: quartzo- α (SiO₂, cartão nº 01-070-7344), caulinita (Al₄(OH)₈(Si₄O₁₀), cartão nº 01-078-2110), montmorilonita (Na,Ca)_{0,3}(Al,Mg)₂Si₄O₁₀(OH)₂.nH₂O, cartão nº 00-007-0051) e illita (K,H₃O)(Al,Mg,Fe)₂(Si,Al)₄O₁₀[(OH)₂,H₂O], cartão nº 00-009-0343). O chamote por sua vez, compreende as mesmas fases cristalinas, porém isento de montmorilonita, isso se deve em função das alterações em suas fases cristalinas decorrente da temperatura que foi realizada sua queima (850 °C).

Figura 17 - Difratoograma de Raios X das matérias-primas (a) Argila A, (b) Argila B e (c) Chamote.



Fonte: SENAlsc (2013) adaptado pelo autor (2013).

6.1.2 Classificação do Resíduo

A análise de caracterização e classificação do resíduo foi efetuada segundo a NBR 10004:2004. Primeiramente realizou-se ensaio na massa bruta, para observar a corrosividade e reatividade. Com pH de 5,09 o resíduo é caracterizado como não corrosivo, pois não ultrapassa o limite estabelecido pela referida norma técnica, especificamente na letra “a” do item “4.2.1.2 Corrosividade - que recomenda estar entre 2 a 12,4”. Portanto, o resíduo é classificado como não perigoso neste primeiro ensaio.

Posteriormente, no teste de reatividade, apresentou-se valores aceitáveis (<0,1 mg/kg) de ácido sulfídrico (H₂S), não se aproximando do limite liberável por kg de resíduo, que é de 500 mg de H₂S. Óleos e Graxas também estão ausentes no resíduo, o que se enquadra nos limites estabelecidos pela norma técnica. Conclui-se então, que o resíduo ensaiado é caracterizado como não reativo, pois não apresenta em sua constituição íon sulfeto acima do limite estabelecido pela NBR 10004:2004, letra “e” do item “4.2.1.3 Reatividade”. Portanto, o resíduo é classificado como não perigoso neste ensaio.

Em um segundo momento foi realizado teste de toxicidade, com ensaios de lixiviação e solubilização, cujos resultados podem ser observados nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Resultados do ensaio de lixiviação - Inorgânicos.

Parâmetros	Resultados (mg/L)	Limites máximos no lixiviado (MG/L)	L.Q.
Arsênio	0,374	1,0	0,001*
Bário	0,5	70,0	0,1
Cádmio	<0,01	0,5	0,01
Chumbo	<0,05	1,0	0,05
Cromo total	<0,02	5,0	0,02
Fluoreto	<0,1	150,0	0,1
Mercúrio	<0,001	0,1	0,001**
Prata	<0,01	5,0	0,01
Selênio	<0,001	1,0	0,001**

- L.Q.: Limites de Quantificação;

- Os metais foram analisados por Espectrofotometria de Absorção Atômica – Chama:

* Forno de Grafite;

** Vapor a Frio.

Fonte: IPAT/UNESC (2013) adaptado pelo autor (2013).

Tabela 9 - Resultados do ensaio de solubilização.

Parâmetros	Resultados (mg/L)	Limites Máximos no Lixiviado (MG/L)	L.Q.
Alumínio	<0,1	0,2	0,1
Arsênio	<0,001	0,01	0,001*
Ferro	0,04	0,3	0,02
Manganês	0,21	0,1	0,01
Sódio	10,17	200,0	0,01
Sulfato (expresso em SO ₄)	58,0	250,0	10,0

- L.Q.: Limites de Quantificação;

- Os metais foram analisados por Espectrofotometria de Absorção Atômica - Chama:

* Forno de Grafite;

** Vapor a Frio.

Fonte: IPAT/UNESC (2013) adaptado pelo autor (2013)

No ensaio de lixiviação (Tabela 8), os parâmetros analisados no extrato obtido segundo a NBR 10005:2004, não apresentaram concentrações acima dos limites máximos permitidos conforme item “4.2.1.4 toxicidade”, letra “a”, “anexo F” da NBR 10004:2004, caracterizando o resíduo como não tóxico, sendo classificado como não perigoso neste ensaio.

No ensaio de solubilização (Tabela 9), dos parâmetros analisados no extrato obtido segundo a NBR 10006:2004, apenas o manganês apresentou concentração superior ao padrão para este ensaio, anexo “G” da NBR 10004:2004, caracterizando como não inerte neste ensaio e classificando como resíduo não perigoso, ou seja, **Classe II A - Não Inerte**.

6.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS LABORATORIAIS

Nessa etapa, serão descritos os resultados obtidos dos ensaios laboratoriais, estando estes apresentados no Apêndice B. Todos os ensaios obedecem à norma ABNT NBR 15270-3:2005, e seguem padrões de qualidade exigidos, com selo LABCER.

6.2.1 Corpos-de-prova (Manual) - Etapa 1

6.2.1.1 Retração Térmica Linear de Secagem

Na Figura 18 é possível observar que a retração linear de secagem diminui conforme há um aumento no percentual do resíduo nas formulações. É de

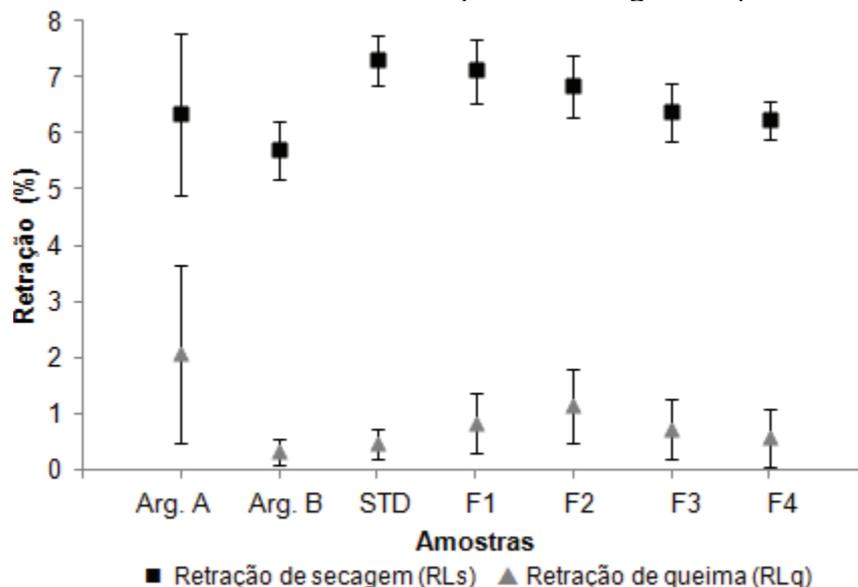
conhecimento que a retração de secagem é importante para controlar a dimensão final da peça cerâmica.

Esse fenômeno ocorre pelo fato do resíduo “chamote” reagir como material inerte, minimizando a redução do tamanho inicial de conformação da peça. A minimização da retração influenciada pelo resíduo incorporado ocorre devido à mínima reação de água entre estes materiais e as partículas de argilominerais. À medida que a água é retirada pela secagem, os percentuais de resíduo praticamente se mantêm em seu tamanho original, mantendo consigo a estrutura da peça, e diminuindo assim, a deformação com a retirada da água.

Conforme Dondi (2006), a cerâmica vermelha para tijolos e telhas possui um valor de variação “ótima” tanto para retração linear de secagem quanto para queima. No processamento industrial a retração linear de secagem considera-se ótima de 5% a 8%, sendo a situação mais aceitável entre 3 a 10%, para a retração linear de queima, a ótima é menor que 1,5% com a situação aceitável entre 1,5 a 3%. Os resultados obtidos dos corpos-de-prova atendem aos valores indicados como referencial proposto por Dondi (2006).

A variação de 1,07% mostra que apesar de baixa, existe uma alteração na retração da peça com a adição do resíduo, essa diferença mostra que quanto maior o percentual de chamote incorporado na massa, menor será a retração, e quanto menor a retração, diminui a possibilidade de trincas na peça.

Figura 18 - Gráfico com resultados de retração de secagem e queima.



Fonte: Autor (2013).

6.2.1.2 Retração Térmica Linear de Queima

O comportamento dos corpos-de-prova quanto à retração de queima (Figura 18), indicam uma leve variação entre as formulações, apresentando maior retração que a amostra padrão. Todavia, a amostra da formulação (F4) aproximando-se da amostra padrão (STD), e também ficou dentro dos limites estabelecido por Dondi (2006), citado anteriormente.

O motivo dessa pequena variação (0,12%) pode ser explicado pela alteração na temperatura de queima, o que deve ter reagido com as partículas do resíduo tornando a retração maior. Esse fenômeno pode ser explicado por Marino e Boschi (1998), uma vez que o aumento de temperatura de queima aumenta a retração linear de queima, ocasionando tendência à diminuição da expansão térmica total.

A determinação da variação resulta do chamote usado nos testes ser oriundo de rejeito (quebra de tijolos) de uma queima inferior a 900 °C. A tendência do chamote, por ser material inerte, é não retrair até chegar à temperatura na qual foi obtida.

Com relação à variação na queima, se deve ao fato dos fornos utilizados nas cerâmicas da região não possuem tecnologia para controle de temperatura, podendo acarretar leves mudanças, implicando em alterações nos resultados de qualidade, como porosidade aparente.

6.2.1.3 Perda ao Fogo

Dias *et al.* (2004), diz que o ensaio de perda ao fogo fornece informações relativas à presença de matéria orgânica e substâncias voláteis no material amostrado. Os resultados obtidos de perda ao fogo das amostras ensaiadas (argilas, formulação padrão e com incorporação de resíduo) estão apresentados na Figura 19.

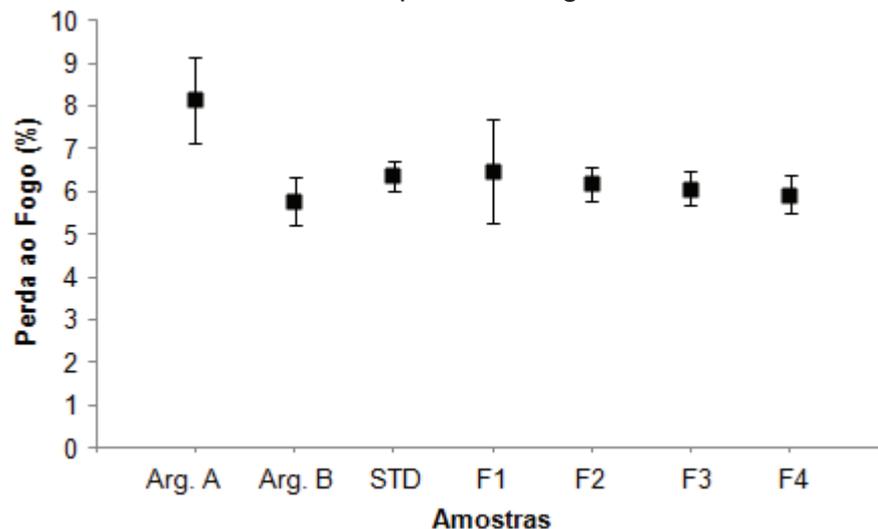
Observa-se que o aumento de percentual de resíduo incorporado na massa cerâmica favorece a diminuição de perda de materiais. Esse fato está relacionado ao resíduo já ter liberado matéria orgânica durante o primeiro processo de queima, ou seja, antes de ser moído para ser incorporado à massa cerâmica.

Pode-se constatar também que maiores percentuais de resíduo incorporado na massa cerâmica favorecerão menores perdas ao fogo.

A massa padrão (STD) manteve num percentual de 6,38% de perda ao fogo, enquanto a F4 com 5,94%; essa leve mudança é mencionada por Fernandes *et al.* (2012), sendo explicada pela variação relacionada às variáveis do processo, tais como perda de água associada a hidróxidos, água de constituição de argilominerais e matéria orgânica eliminada durante o processo de queima; o que comprova que a 900 °C o uso de resíduo (chamote) não acarreta danos ao produto.

Vale ressaltar, que durante a queima, algumas transformações acontecem na estrutura da argila, o que explica a perda ao fogo. Riella (2010) coloca que os argilominerais quando aquecidos até 150 °C, perdem água dos poros e a água adsorvida, e entre 400 °C e 900 °C ocorre a expulsão da água ligada estruturalmente sob forma de grupos OH⁻. O mesmo autor, ainda coloca uma série de mudanças físicas e químicas, que acontecem no decorrer do aumento de temperatura, tais fenômenos podem implicar na perda ao fogo.

Figura 19 - Gráfico com resultados de perda ao fogo.



Fonte: Autor (2013).

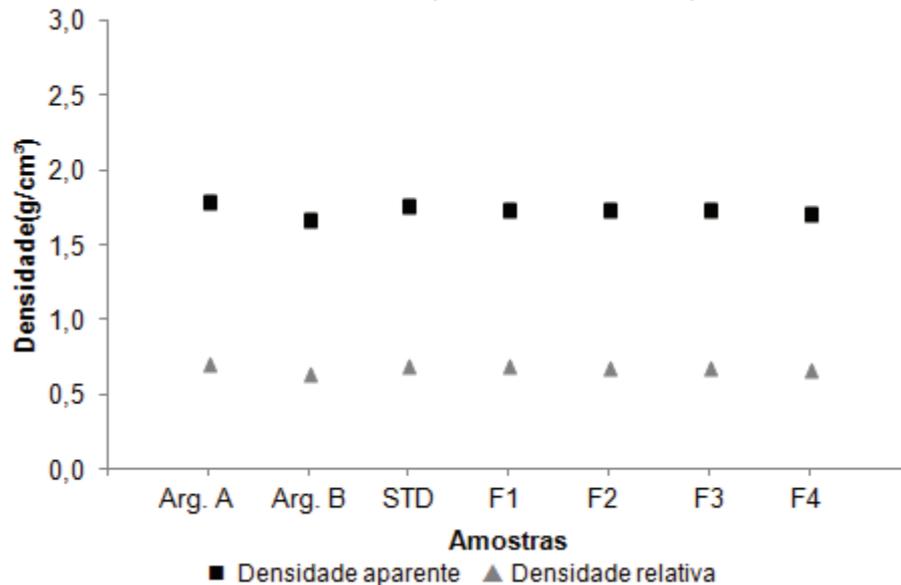
6.2.1.4 Densidade Aparente e Relativa

A Figura 20 mostra os valores obtidos para densidade aparente e relativa, onde ambas tiveram uma regularidade em seus resultados, ou seja, a adição de resíduo na massa, não interferiu nessa etapa. Para densidade aparente, tem-se variação de 0,05% entre a amostra padrão (STD) em relação F4. Na densidade

relativa, a variação entre STD e F4 se manteve na mesma ordem, próximas de 0,03%; o que comprova que o chamote não alterou de forma significativa a densidade do produto, tornando viável nessa etapa o uso do resíduo.

O desvio padrão teve valores inferiores à $<0,02$ e foram desconsideradas, todavia serão mostrados no Apêndice B.

Figura 20 - Gráfico com valores obtidos para Densidade Aparente e Relativa.



Fonte: Autor (2013).

6.2.1.5 Porosidade Aparente

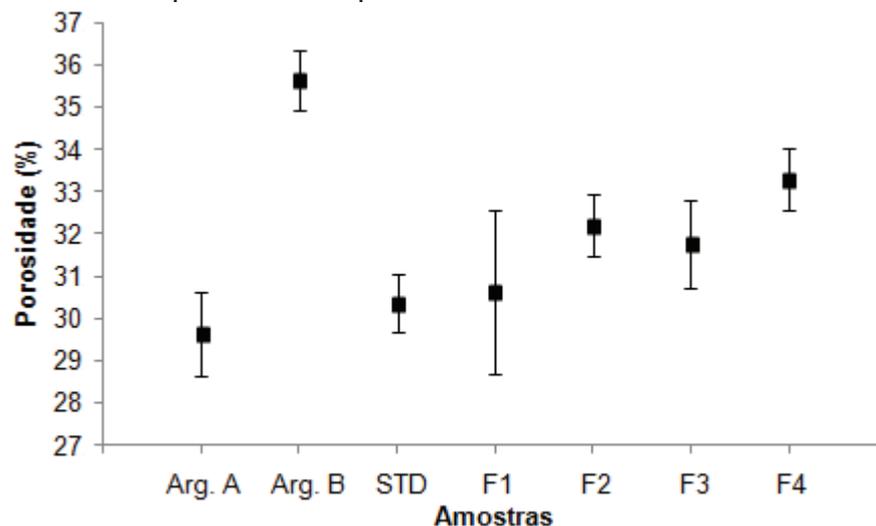
A porosidade pode ser observada na Figura 21, seguindo certa similaridade com as características apresentadas na absorção de água. O desvio padrão teve valores inferiores à $<0,01$ e foram desconsideradas, todavia serão mostrados no Apêndice B.

Facincani (2002) coloca que no estado seco a porosidade depende somente das frações granulométricas dos componentes e do modo com o qual estão misturados. Portanto, melhor compactação e um número reduzido de poros são obtidos através de uma distribuição perfeita de granulometria com grânulos pequenos que preenchem os espaços deixados pelos maiores. Levando-se em consideração o citado por Facincani (2002), pode-se compreender que após o processo de queima, a porosidade tende a aumentar devido à eliminação de matéria orgânica e água.

Verifica-se ainda que a Argila A, por ser mais plástica, tende a preencher melhor os espaços vazios acarretando menor número de poros, ao contrário da Argila B, que por ser menos plástica, acarreta maior porosidade; outro fator que justifica tal mudança corresponde aos fenômenos de liberação de água durante a queima, deixando pequenos vãos na peça, acarretando os poros, conforme mencionado anteriormente nos resultados de perda ao fogo. Em contrapartida existe pequena variação entre a amostra padrão com as formulações, chegando a menos de 0,2%, o que leva a crer que apesar do rejeito aumentar a porosidade da peça, não sofre uma mudança drástica, que tenha interferência negativa na absorção de água. Este fato pode ser constatado na Figura 22, uma vez que não se percebe muita variação em termos de porosidade aparente nas peças "manuais" das formulações padrão e F4.

Observa-se ainda que os valores obtidos na densidade aparente e relativa são o inverso dos alcançados na porosidade apresentados na Figura 21.

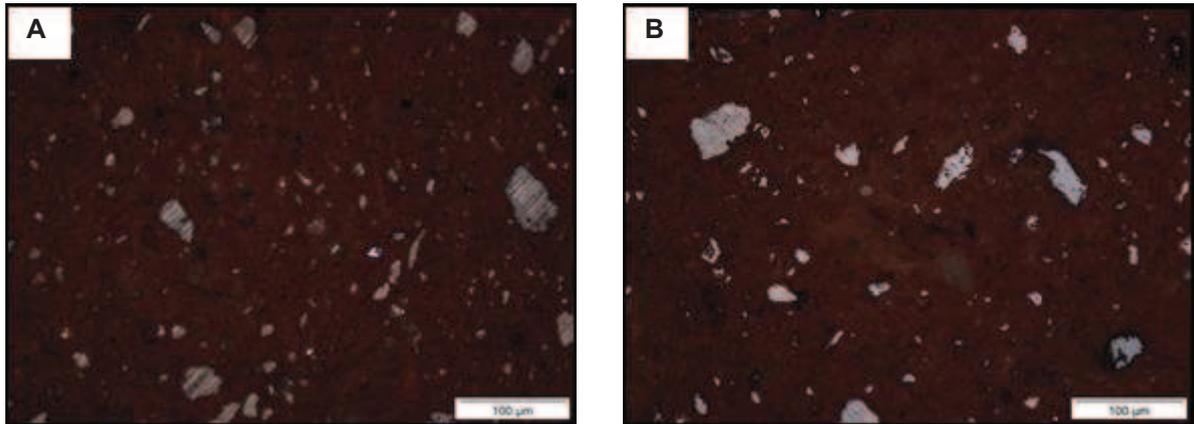
Figura 21 - Gráfico de porosidade aparente.



Fonte: Autor (2013).

Outra provável explicação do desenvolvimento de poros nas amostras com maiores percentuais de resíduo se dá pela soma de dois fatores: primeiro pela queima e perda de água e material orgânico das argilas, seguida da retração do resíduo, que apesar de inerte, está sendo queimado à temperatura superior o qual foi obtido.

Figura 22 - Microscopia para observação da porosidade das peças (A) Padrão e (B) F4.



Fonte: IDT/IPAT/UNESC (2013)

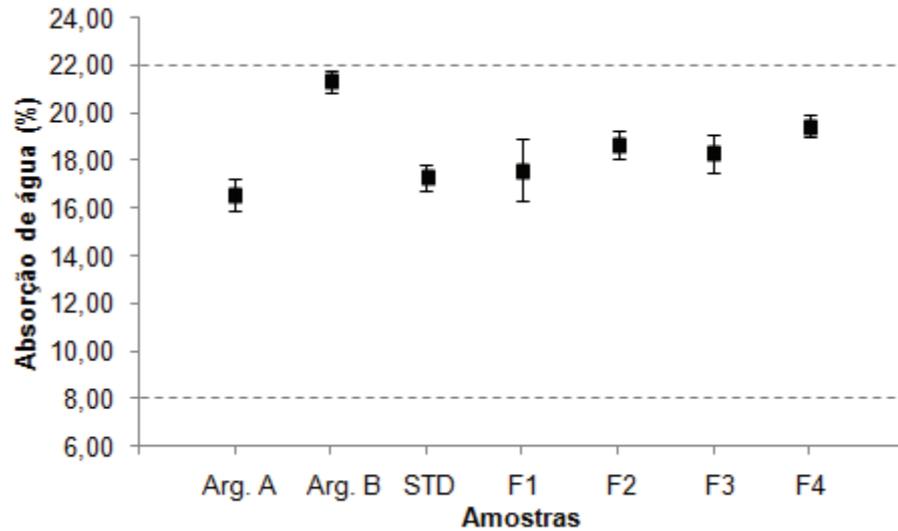
Na imagem da microscopia (Figura 22), pode-se observar nos pontos mais claros, que correspondem a superfície da peça.

6.2.1.6 Absorção de Água

Esta etapa, segundo Facincani (2002) está diretamente associada à quantidade de poros da peça. Os valores do ensaio são observados na Figura 23, podendo ser interpretada em relação à porosidade aparente dos corpos-de-prova; ou seja, quanto mais porosa é a peça, maior a absorção de água. Os resultados estão entre o esperado, onde há a elevação de AA, com o aumento de chamote incorporado à STD. Existe uma leve variação entre F2 e F3, mas através dos seus desvios-padrão, constata-se uma normalidade. Uma pequena diferença de 2,18% separa a amostra padrão (STD) da F4, o que não é encarado como exorbitante, e mesmo assim, essa última ainda atende à NBR 15270:2005, ficando com 19,47% de AA.

Apesar da norma não ter um regimento específico para esses tipos de corpos-de-prova que foram estudados na Etapa 1, eles podem servir de referência para a realização da Etapa 2. Portanto, pode-se observar no próprio gráfico, a linha pontilhada que aponta os limites mínimos e máximos que a norma exige, mostrando que os corpos-de-prova dessa Etapa, atendem as especificações da NBR, e todas poderiam ser efetuadas na Etapa seguinte.

Figura 23 - Gráfico com valores de absorção de água.

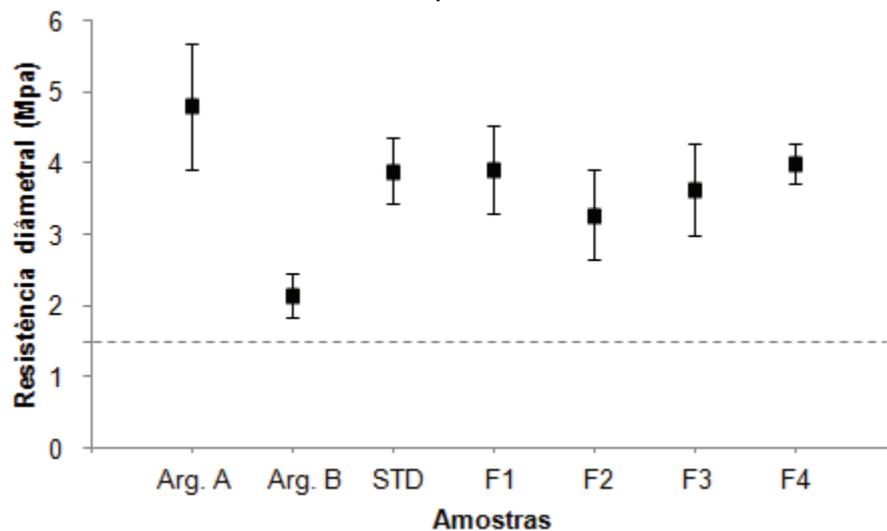


Fonte: Autor (2013).

6.2.1.7 Resistência Mecânica à Compressão Diâmetral

Analisando os dados obtidos através do ensaio de compressão na máquina universal de ensaios, apontados na Figura 24, pode-se observar instabilidade nas amostras STD, F1 e F4, ficando entre 3,90 e 3,99 (MPa); existe uma leve variação nas amostras F2 e F3, mas através de seus desvios padrão seguem uma normalidade.

Figura 24 - Resistência Mecânica à Compressão Diâmetral.



Fonte: Autor (2013).

A variação nas amostragens (F1 a F4), pode ser explicada em função de a confecção ter sido realizada de forma manual, e nem sempre há uma

padronização na força exercida no momento da produção dos corpos-de-prova, todavia, as 20 amostras analisadas para cada formulação, mostraram uma média, que de certa forma são aceitáveis para o procedimento. Tal variação fica mais evidenciada na formulação (F2).

6.2.2 Corpos-de-prova (Blocos de Vedação) - Etapa 2

A Etapa 2 foi executada visando verificar a viabilidade do uso do resíduo “chamote”, como fonte alternativa de matéria-prima no processo industrial da cerâmica vermelha.

A composição analisada nesta etapa foi escolhida baseando-se no valor de resistência mecânica de tração indireta via compressão mecânica. Esta propriedade é fundamental para que seja adequada em norma, pois garante o uso da peça cerâmica sem comprometimento à segurança da obra quando estiver em serviço.

Importante destacar que todas as formulações da Etapa 1 mostraram-se aptas a serem levadas à Etapa 2, apresentando resultados satisfatórios. Todavia, optou-se na Etapa 2, para extrusão, pela escolha da amostra F4 em função da mesma ter bom resultado quanto à resistência mecânica, apesar da pequena variação positiva.

O estudo da viabilidade foi realizado em análise comparativa com os valores dos requisitos físicos-mecânicos específicos, determinados pela norma NBR 15270:2005. Também foram analisadas a retração térmica de secagem e de queima e perda ao fogo.

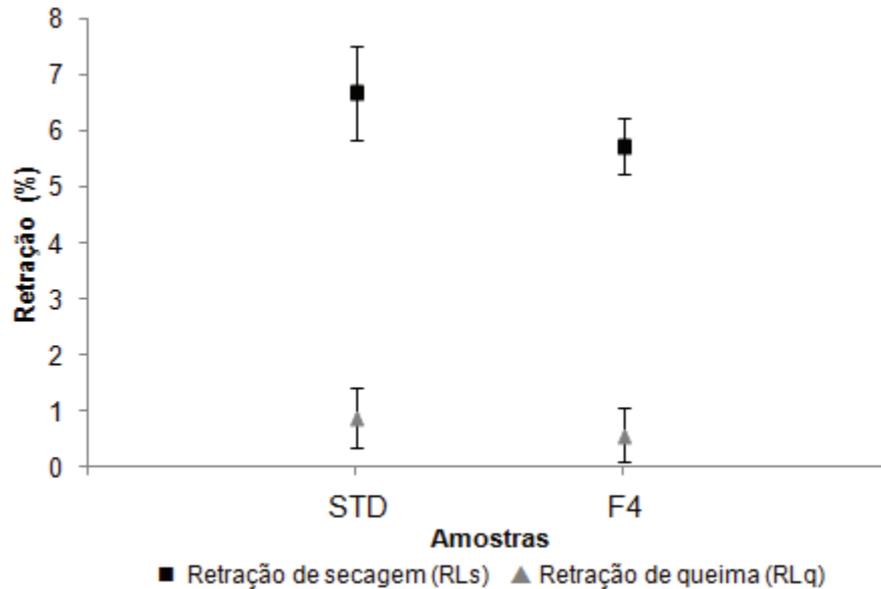
6.2.2.1 Retração Térmica Linear de Secagem

Os resultados de retração de secagem dessa Etapa se mantiveram próximos das obtidas na Etapa 1.

Pode-se observar menor retração na amostra F4, apresentando-se mais adequada, fornecendo a estabilidade dimensional, lembrando que os tijolos devem atender à dimensão pré-estabelecida pela NBR 15270:2005 especificada no item “4.5.2 Dimensões de Fabricação”, sendo o valor permitido para tolerância especificada no item “5.1 Tolerância Dimensional”, correspondente a ± 3 mm.

Observa-se nos resultados da Figura 25 uma variação inferior a 1% entre a F4 e a amostra padrão (STD).

Figura 25 - Retração térmica linear de secagem e queima.



Fonte: Autor (2013).

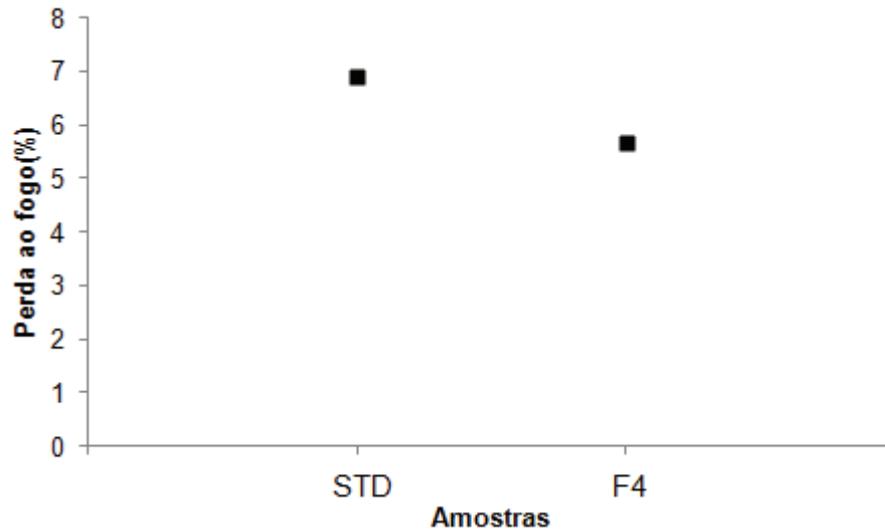
6.2.2.2 Retração Térmica Linear de Queima

Nesse teste, cujos resultados estão apresentados na Figura 25, tem-se uma variação 0,31% entre a F4 e STD, mas difere dos obtidos na Etapa 1. Verifica-se uma menor retração, tal fenômeno pode ser explicado pelo fato de que na confecção “manual” as peças não foram conformadas corretamente, e na extrusão sim, diminuindo a retração. Lembrando que esse material passa pelas mesmas condições de queima realizados na Etapa 1.

6.2.2.3 Perda ao Fogo

A perda ao fogo se manteve com resultados similares aos da Etapa 1, onde a STD perdeu mais que a F4. Vale lembrar que a tendência das massas que usam chamote como material incorporado, seria de diminuir a perda ao fogo, uma vez que este já passou pelo processo de queima.

Os resultados estão apresentados na Figura 26, sendo que os desvios padrões encontrados são pequenos, e são desconsiderados, todavia podem ser constatados no Apêndice B.

Figura 26 - Perda ao fogo.

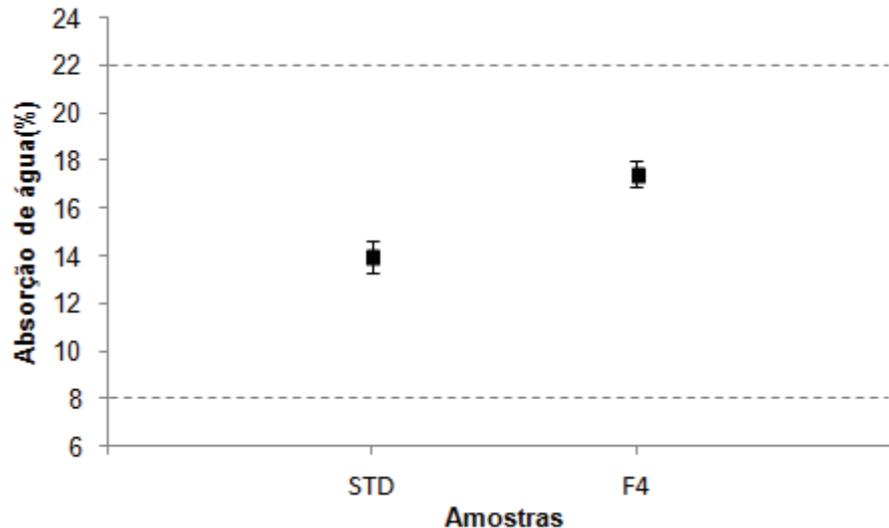
Fonte: Autor (2013).

6.2.2.4 Absorção de Água

Como já observado na Etapa 1, a absorção de água está diretamente relacionada com a quantidade de poros que uma peça possui. Esses poros podem ocorrer a partir da perda de água durante o processo térmico, também há conexão com fenômenos ligados ao empacotamento de partículas ou por fim, há relação com a retração dos grãos de resíduo “chamote”, que durante o processo de queima com temperaturas acima da anterior acabam encolhendo.

Na Figura 27 apresenta o valor para absorção de água, e como esperado, a amostra F4 teve maior absorção de água, por possuir mais poros. Todavia, essa variação de 3,43% da STD para a F4, chegando a 17,42% não afeta o que a norma técnica requer. A NBR 15270:2005 estabelece valores máximos e mínimos que devem ser obedecidos no quesito absorção de água, sendo este apresentado no item “5.6 Índice de Absorção de Água (AA)”, onde não deve ser inferior a 8% e nem superior a 22%. Tais valores obrigatoriamente têm que ser seguidos, uma vez que blocos de vedação da cerâmica vermelha têm sua pior condição física quando estão em contato com a água. Nenhuma das amostras foi rejeitada, obedecendo a tabela 8 da referida norma técnica.

No gráfico da Figura 27, pode-se observar na linha pontilhada os valores mínimos e máximos que a norma exige para esse ensaio.

Figura 27 - Absorção de água.

Fonte: Autor (2013).

6.2.2.5 Compressão Mecânica

A compressão mecânica é a última análise dos testes de qualidade de blocos estruturais. Para esse ensaio, primeiro se realiza o capeamento das peças, conforme Anexo C da NBR 15270-3:2005, que traz as determinações da resistência à compressão de blocos estruturais, explicando o preparo para realização da prova.

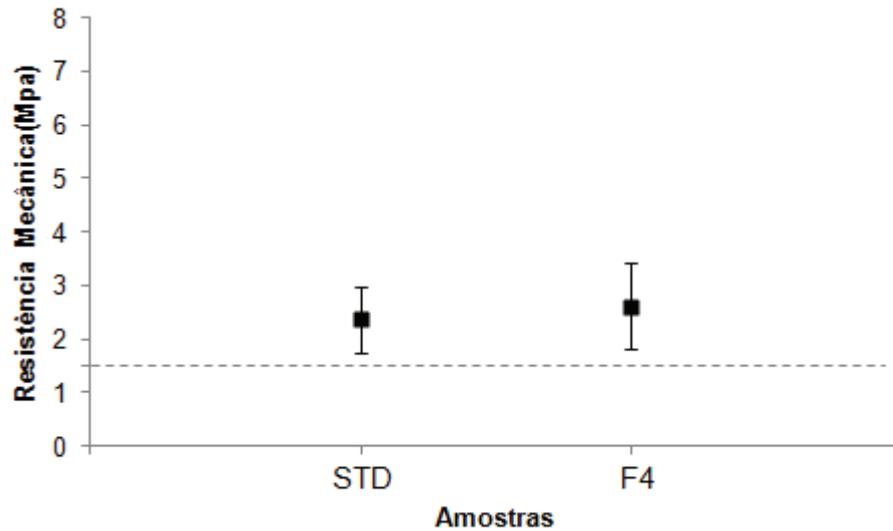
A Figura 28 mostra os resultados obtidos nos testes de compressão, e foram vistos como positivos, uma vez que este formato escolhido tem uma tendência muito elevada de reprovar devido aos frisos laterais, que diminuem a resistência das peças.

Importante destacar que as peças não passaram pelo descanso de 24 h na água, conforme pede a NBR que determina a metodologia para tal procedimento. Essa especificação foi passada pelo LABCER, explicando que esse procedimento é particular para peças de escala industrial.

Os resultados obtidos para STD com 2,36 MPa e para a F4 com 2,61 MPa, estão acima do estabelecido que é de 1,5 MPa. E se tivessem passado pelo procedimento de descanso em água, esses resultados seriam um pouco inferiores, devido que a peça cerâmica se encontra em seu pior estado de resistência em contato com alta umidade.

No gráfico da Figura 28 pode-se observar a linha pontilhada que determina o valor mínimo que a peça deve atender para esse ensaio.

Figura 28 - Resultados de compressão mecânica.



Fonte: Autor (2013).

Dos 10 corpos-de-prova analisados para ambas as amostras (STD e F4), apenas uma de cada ficou fora do estabelecido, ou seja, abaixo de 1,5 MPa, o que obedece aos critérios especificados internamente pelo LABCER.

Os resultados obtidos com a F4 estão iguais a STD (analisando os desvios padrão), ficando evidente que a incorporação de resíduo “chamote” viabiliza a produção. A diferença de 0,25 MPa para a formulação 4, pode ser explicada pela utilização de resíduo oriundo de queima inferior à submetida posteriormente em laboratório e segundo Gouveia e Sposto (2009), à medida que se eleva a temperatura há um incremento no valor da resistência de ruptura, devido à vitrificação das partículas. Ou seja, na segunda queima, até a temperatura em que foi obtido o chamote se mantém inerte, e a partir do momento que passa a temperaturas mais elevadas, têm início a reações físico-químicas com esse material, o que explica os melhores resultados.

Vale destacar que os resultados encontrados por Gouveia e Sposto (2009) variavam positivamente de acordo que as temperaturas se elevavam.

6.3 PROPOSIÇÃO DE ALTERAÇÕES NO PROCESSO INDUSTRIAL PARA APLICAÇÃO DO RESÍDUO

Para essa etapa fez-se um levantamento de tecnologias que devem ser implantadas na empresa para o processo de beneficiamento do resíduo, a fim de transformá-lo em chamote moído. Portanto verificou-se no mercado a disponibilidade de tais equipamentos que visam suprir essa necessidade.

6.3.1 Fornecedor 1 - Equipamento Moinho de Martelos

- a) Informações Técnicas: Processador de entulhos provido de moinho de martelo. É dotado de telas intercambiáveis que determinam a granulometria final das partículas trituradas. Compacto, pode ser usado diretamente no canteiro ou processar materiais estocados previamente.
- b) Principais Características:

Tipo	: Moinho de Martelos
Capacidade	: de 2,0 a 5,0 m ³ /h ou de 2,4 a 6,0 ton/h
Dimensões do Martelo	: 360 x 200 mm
Granulometria de Entrada	: peças inteiras
Granulometria de Saída	: de 0,1 a 25,0 mm
Motor Elétrico	: 7,5 kW, picos de 15,0 kW
Dimensões de Trabalho (C x L x A)	: 2720 x 1110 x 1730 mm
Peso Bruto	: 900 kg
Condições	: não tritura concreto armado

- c) Condições Comerciais:

Tabela 10 - Estimativa do valor para obtenção do equipamento do fornecedor 1.

Descrição dos Custos	Valor Unitário (R\$)
Moinho de Martelos	111.000,00
Transporte Cotia-SP - Morro da Fumaça-SC	920,00**
Outros (pedágio, alimentação, etc.)	100,00*
2 passagens de avião São Paulo-SP-Florianópolis-SC + Transporte Cotia-SP-São Paulo-SP e Florianópolis-SC-Morro da Fumaça-SC.	680,00*
2 diárias para técnicos da empresa (Hotel)	40,00
TOTAL	112.740,00

* Valores aproximados; ** Transporte pela fornecedora.

Fonte: Fornecedor 1, adaptado pelo Autor.

6.3.2 Fornecedor 2 - Equipamento Moinho de Martelos

a) Informações Técnicas: Aplicável a materiais de cerâmica vermelha (tijolos e telhas) defeituosas. O componente principal do britador de martelo são os rotores com 4 martelos tipo barra. A alimentação é feita por gravidade, e pode ser feita manualmente ou mecânica com placa magnética. Os materiais menores que a medida mesh da peneira situada embaixo do rotor, serão peneirados para fora, enquanto que os maiores serão novamente britados até atingirem o tamanho requerido. O tamanho do produto final pode ser ajustado trocando a chapa de peneiramento.

b) Principais Características:

Tipo	: Moinho de Martelos
Capacidade	: 500 kg/h
Granulometria de Entrada	: <100 mm
Granulometria de Saída	: < 3 mm
Potência	: 15,0 cv (11 kW)
Dimensões de Trabalho (C x L x A)	: 1400 x 796 x 2218 mm
Peso Bruto	: Dado não fornecido

c) Condições Comerciais:

Tabela 11 - Estimativa do valor para obtenção do equipamento do fornecedor 2.

Descrição dos Custos	Valor Unitário (R\$)
Moinho de Martelos	24.500,00
Transporte São Paulo-SP - Morro da Fumaça-SC	1.400,00*
Outros (pedágio, alimentação, etc.)	100,00*
1 passagem de avião São Paulo-SP-Florianópolis-SC + Transporte Florianópolis-SC-Morro da Fumaça-SC.	300,00*
1 diária para técnico da empresa (Hotel)	20,00
TOTAL	26.320,00

* Valores aproximados.

Fonte: Fornecedor 2, adaptado pelo Autor.

6.3.2 Fornecedor 3 - Equipamento Moinho de Martelos

a) Informações Técnicas: Equipamento destinado a moer matéria-prima tais como argila, caulim e rejeitos de produtos cerâmicos (telhas, tijolos). É constituído de martelos fabricados em aço especial, composto de: Um (1) rotor com quatro (4) barras, duas (2) couraças

reguláveis com revestimento feito com material duro, uma (1) grelha, dois (2) mancais com rolamentos, um (1) sistema de motorização, uma (1) polia com quatro (4) canais B, uma (1) proteção para polias e correias. O sistema de ancoragem da porta do moinho é garantido por três porcas de travamento com dobradiças. Tal sistema garante uma rápida abertura e fechamento da porta para facilitar a inspeção e a manutenção das partes moentes.

b) Principais Características:

Tipo	: Moinho de Martelos
Capacidade	: 3 ton/h
Granulometria de Entrada	: <100 mm
Granulometria de Saída	: < 0,5 mm
Potência	: 18,5 kW
Dimensões de Trabalho (C x L x A)	: 1600 x 1010 x 855 mm
Peso Bruto	: 400 kg
Condições	: Umidade inferior a 5%

c) Condições Comerciais:

Tabela 12 - Estimativa do valor para obtenção do equipamento do fornecedor 3.

Descrição dos Custos	Valor Unitário (R\$)
Moinho de Martelos	48.500,00
Transporte Içara-SC - Morro da Fumaça-SC	200,00*
TOTAL	48.700,00

* Valores aproximados.

Fonte: Fornecedor 3, adaptado pelo Autor.

6.3.4 Estimativa de Custos para Viabilidade Econômica da Utilização do Chamote no Processo Industrial

6.3.4.1 Estimativa de Custos de Produtividade

A análise de viabilidade econômica para aplicação do chamote no processo industrial considerou o uso de dados de uma cerâmica da região de Morro da Fumaça, utilizando a produção de uma tipologia comercial na bitola 9x14x19 cm.

O primeiro passo precedeu-se através do levantamento de produtividade com auxílio do setor de produção, buscando a capacidade máxima de cada forno presente na cerâmica, e multiplicando-se pela quantidade de queimas (fornada) realizadas mensalmente. Esta atividade permitiu a obtenção de uma quantidade

mensal de produção de tijolos (9x14x19 cm), correspondente a 456.000 peças/mês. Posteriormente foi convertida a produção para um (1) ano, chegando a 5.472.000 peças/ano.

O segundo passo consistiu na estimativa da geração de resíduo gerado na cerâmica, através de estudos realizados por Gouveia citado por Vasconcelos (2009), correspondente a 3%. Considerando 3% de quebra do valor total de peças, tem-se aproximadamente 164.160 peças/ano de quebra. Realizou-se uma média de 10 tijolos crus (recém saídos da extrusão) e 10 tijolos queimados (recém saídos do forno), para ter uma estimativa de material perdido. Após pesados, as médias dadas foram de: Tijolo úmido (cru) com 2.164 kg e tijolo queimado com 1.636 kg. Tendo as massas médias de cada peça (crua e queimada), pode-se ter um valor aproximado em toneladas de matéria-prima perdida (rejeito). Como visto anteriormente estima-se uma perda anual de 164.160 peças. Multiplicando o número de peças perdidas (164.160) pela massa (1.636 kg), obteve-se, portanto a estimativa de rejeito (cerca 269 ton.rejeito/ano).

O terceiro passo consistiu na utilização da massa média do tijolo cru, para obter uma base fiel da quantidade de matéria-prima (argila) desperdiçada por ano na fabricação dessas peças cerâmicas descartadas. Multiplicando a massa do tijolo cru com a quantidade de peças rejeitadas, chegou-se a uma estimativa de 355 ton.argila/ano. De acordo com Witkowski (2007), o m³ da argila equivale a 1,661 ton/m³, ou seja, o desperdício é de aproximadamente 213,72 m³ de argila ano. Reaproveitando esse material na massa cerâmica, além de diminuir a extração de argila nas jazidas, também minimiza o trânsito de 18 caminhões basculantes para o transporte de matéria-prima até a cerâmica, propiciando a minimização de impactos ambientais associados a emissões atmosféricas e ruídos, além de transtorno com moradores da região.

Considerando os dados da cerâmica em análise, o m³ de argila depositado no pátio da empresa gira em torno de R\$ 10,00, incluso o frete. Portanto, os 213,72 m³ de argila/ano são equivalentes a R\$ 2.137,20 de desperdício para a empresa. Esse valor corresponde a aproximadamente 5% dos custos com matéria-prima no intervalo de um (1) ano. A base de custo foi do exercício de maio de 2012 a abril de 2013.

Importante destacar que o uso desse rejeito na região não possui qualquer tipo de gerenciamento, sendo na maioria dos casos, dispostos de forma

desordenada, como material de terraplanagem, preenchimento de valas (buraco) junto às rodovias não pavimentadas no entorno das cerâmicas ou apenas descartados em terrenos baldios. Segundo a classificação com base na NBR 100004/2004, esse resíduo é Classe II-A não inerte, e não pode ser depositado em local inapropriado, tendo que ser enviado a um aterro industrial. Considerando a deposição de resíduos industriais na região sul de Santa Catarina, o custo por tonelada é de aproximadamente R\$ 98,00 (sem cálculo de frete), ou seja, se fosse encaminhado a um destino adequado, a cerâmica teria um gasto anual de aproximadamente R\$ 26.362,00.

6.3.4.2 Estudo Simplificado da Utilização dos Equipamentos

Tendo em vista a viabilidade técnica do uso do chamote no processo industrial com base nos experimentos em escala laboratorial, fez-se um estudo simplificado considerando apenas os custos de aquisição dos equipamentos que suprisse as necessidades de beneficiamento da cerâmica em estudo.

A memória de cálculo considerou apenas o custo do equipamento dividido pela economia gerada em matéria-prima. Neste cálculo não foram considerados custos de operação (energia, mão de obra e equipamentos para alimentação do moinho) e manutenção (lubrificação, etc.), bem como não foram considerados os custos com disposição do resíduo em aterro industrial.

a) Equipamento Fornecedor 1: R\$ 112.740,00

Considerando a economia anual de R\$ 2.137,20 em matéria-prima obtidos pela incorporação do resíduo na massa cerâmica, haveria a necessidade de 53 anos para quitação do equipamento.

b) Equipamento Fornecedor 2: R\$ 26.320,00

Considerando a mesma economia anual citada anteriormente, a utilização do equipamento do fornecedor 2, levaria 12 anos para sua quitação.

c) Equipamento Fornecedor 3: R\$ 48.700,00

Sob as mesmas condições já citadas para obtenção dos equipamentos anteriores, o do fornecedor 3 levaria 22 anos para sua quitação.

Analisando inicialmente os resultados do estudo simplificado com uso do equipamento do Fornecedor 1, verifica-se a sua inviabilidade em função do baixo volume de resíduos gerados na empresa, ou seja, o equipamento ficaria ocioso. No entanto, sugere-se que este equipamento seja implantado numa cooperativa, a qual atenderia à demanda de várias cerâmicas, e conseqüentemente tornaria viável o seu emprego.

No caso do equipamento do Fornecedor 2, embora inicialmente pareça inviável em função do tempo de quitação do equipamento para a empresa em questão, a longo prazo deverá compensar uma vez que nas três situações (Fornecedores 1, 2 e 3) não foram contabilizados custos com disposição adequada de rejeito, bem como variações de custos com aquisição de matéria-prima.

Para obtenção do equipamento do fornecedor 3, depara-se com o mesmo caso visto anteriormente para aquisição do primeiro, um tempo muito longo para quitação e um período de inatividade muito extenso para um empreendimento de tal amplitude. Todavia, se tomada a mesma direção do citado para o equipamento do Fornecedor 1, e adquirir em cooperativa, visando atender um série de cerâmicas, acaba se tornando a melhor alternativa, além do custo inferior, tem-se o fator da empresa Fornecedora ser próxima, o que facilita contatos diretos e até mesmo para manutenção.

7 CONCLUSÃO

Em âmbito regional, depara-se com o descaso com o meio ambiente, uma vez que o resíduo gerado no processo industrial da cerâmica vermelha é disposto em locais inadequados, o que mostra a importância desse estudo. A utilização do chamote vem contribuir no gerenciamento de resíduos sólidos na cerâmica vermelha, reduzindo custos com extração de matéria-prima, aumentando inclusive a vida útil das jazidas e agregando valor econômico ao resíduo.

Os resultados de Classificação do resíduo segundo a NBR 10004:2004, permitiu identificar a presença de manganês em concentração superior ao padrão estabelecido, classificando o resíduo como não perigoso - Classe II A - Não Inerte.

De acordo com os resultados obtidos nos experimentos, verifica-se a viabilidade da utilização do resíduo no processo cerâmico em até 20% de material incorporado à massa cerâmica. Apesar das pequenas variações encontradas diante das diferentes formulações realizadas na Etapa 1, todas se comportaram dentro das especificações da norma técnica, o que é de grande importância.

Os resultados dos corpos-de-prova da Etapa 2, indicam que a formulação F4 (20% de chamote), também mostrou-se satisfatória, o que leva a concluir que até 20% de chamote incorporado na massa cerâmica possibilita a produção de peças com qualidade dentro dos parâmetros estabelecidos.

Importante destacar que os resultados obtidos nas diferentes formulações ensaiadas, especialmente de Retração Térmica Linear de Secagem, permitiram a diminuição da retração da peça durante a secagem, o que possibilitou menos perda de peças cerâmicas em relação à dimensão pré-estabelecida pela NBR 15270:2005 especificado no item “4.5.2 Dimensões de Fabricação”, sendo o valor permitido para tolerância especificada no item “5.1 Tolerância Dimensional”, correspondente a ± 3 mm. Considerando uma menor retração da peça crua, possibilita menor chance de trinca no produto final.

No caso da Absorção de água, o desempenho do produto com resíduo acabou sendo inferior a STD (Padrão), devendo ser analisado com atenção, uma vez que a peça cerâmica tem pior desempenho em contato com a água, porém os dados obtidos atendem à norma técnica. Com relação ao ensaio de compressão mecânica, verificou-se que a peça manteve um padrão de qualidade com emprego do chamote, comprovando a viabilidade do estudo em escala laboratorial.

Analisando de forma isolada os custos para utilização do chamote com equipamento em escala industrial (Fornecedor 1 e 3), constata-se inicialmente a inviabilidade de uma única cerâmica adquirir tal tecnologia em função do período necessário para retorno do investimento. Por outro lado, se for considerar a utilização de equipamento do Fornecedor 2, associados a custos de disposição de resíduo em aterro industrial, além de possíveis variações de custos com matéria-prima, torna-se viável a possibilidade de investimentos dessa natureza.

Uma das alternativas seria concentrar estes investimentos assumidos por uma cooperativa, visando atender um grupo de cerâmicas.

Sugestões para trabalhos futuros

- Realizar um teste em escala industrial junto a um fornecedor de equipamento de beneficiamento de resíduo visando avaliar a aplicabilidade/rendimento do equipamento;
- Realizar teste em escala industrial com uso de chamote em diferentes formulações na massa cerâmica;
- Realizar um estudo de viabilidade econômica visando à implantação de uma central de beneficiamento de resíduo de cerâmica vermelha.

REFERÊNCIAS

A Notícia - **Morro da Fumaça é das mais poluídas do Brasil**. 1998.

Disponível em:

<<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:pOUHUMHvGc4J:www1.an.com.br/1999/out/11/0ger.htm+&cd=1&hl=pt-PT&ct=clnk&gl=br>> Acesso em 25/03/2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270/2005. Componentes Cerâmicos**: Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004/2004. Resíduos Sólidos - Classificação de Resíduos Sólidos**: Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005/2004. Resíduos Sólidos - Lixiviação de Resíduos**: Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006/2004. Resíduos Sólidos - Solubilização de Resíduos**: Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007/2004. Resíduos Sólidos - Amostragem de resíduos Sólidos**: Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5711/1982. Tijolo Modular de Barro Cozido: Padronização**: Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

ARAÚJO, Rodrigues & Freitas. **Materiais de Construção**: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2000. 325p.

ALESC - ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, **Documentário Contará a História da Cerâmica Vermelha**. 2012, pg 42-43. Disponível em: <- <http://www.alesc.sc.gov.br/portal/clipping/pdf/clipping-18-12-2012.pdf>> acesso em 30/05/2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA - ABCeram. **Cerâmica no Brasil, Números do Setor**, 2011.

Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=2&submenu=19>> Acesso em 31/03/2013.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA - ANICER. **Cerâmica Vermelha em Santa Catarina**, 2007.

Disponível em:

<<http://www.anicer.com.br/index.asp?pg=institucional.asp&secao=1&categoria=55&elMenu=1&op=1997>> Acesso em 13/03/2013.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA - ANICER. **Dados Oficiais**, 2008.

Disponível em:

<<http://www.anicer.com.br/index.asp?pg=institucional.asp&secao=3&categoria=60&seMenu=3>> Acesso em 31/05/2013.

BRAGA, Benedito *et al.* **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305p.

BRASIL. Ministério. CONAMA. Coleção de Leis do Ministério do Meio Ambiente.

Disponível em: <<http://mma.gov.br>> Acesso em 25/01/2013.

BRASIL. Ministério. CONAMA. Resolução 307/2002. Disponível em:

<http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/federal/resolucoes/2002_Res_CONAMA_307.pdf> Acesso em 27/05/2013.

BRASIL. Ministério. PORMIN. Ministério de Minas e Energia. Argilas Brancas e Vermelhas. Disponível em:

<http://www.pormin.gov.br/informacoes/arquivo/argilas_branca_vermelha_propriedades_aplicabilidade_ocorrencias.pdf> Acesso em 03/02/2013.

BRISTOT, Vilmar Menegon. **Máquinas e Equipamentos para Cerâmica**. Criciúma: Luana, 1996. 356p.

Câmara Brasileira da Indústria de Construção. Construção Civil: Análises e Perspectivas. **Banco de dados da CBIC**. Brasília, Dezembro de 2010.

Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/files/textos/063.pdf>>. Acesso em 13/02/2013.

CARMONA, S., GETTU, R., HURTADO, C., MATRÍN, M.A. **Use of the splitting-tension test to characterize the toughness of fiber-reinforced concrete**. Anales de mecanica de lafractura, vol 12, 2005, p 233-238.

CERÂMICA ESTRUTURAL. **Setor atento às normas ambientais**. Periódico mensal da editora Pólo Produções. Ano 07 - Nº 72. Criciúma - SC. P. 04 - 08. Março 2006.

DIAS, L.M. BATALIONE, G. MORAIS, F.U. SOBRINHO, J.F. RIBEIRO, M.C.

LISBOA, M.S. **Alternativa de destinação final do lodo de estação de tratamento de água**: Fabricação de blocos cerâmicos. Congresso Interamericano de Engenharia Ambiental e Sanitária, Agosto de 2004, San Juan. 23p.

Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/dias.pdf>>. Acesso em 21/05/2013.

DONDI, M.; FABBRI, B.; MARSIGLI, M. **“Resenha das experiências de reciclagem de resíduos industriais e urbanos na produção de tijolos”**. Cerâmica Informação, n. 1, p.17-29, nov./dez.1998.

DONDI, M. **Caracterização Tecnológica dos materiais argilosos: métodos experimentais e interpretação dos dados**. Cerâmica Industrial. São Carlos (SP), v.11, n.3, p. 36-40, Mai./Jun., 2006.

FACINCANI, Ezio, **Tecnologia Cerâmica: Cerâmica estrutural**. Tradução de Géol Jaime Pedrassani. São Paulo: Faenza Editrice do Brasil, 2002. 276p., Il.

FERNANDES, P. DONADEL, K. NANDI, V.S. MANTAS, P. Centro Universitário Barriga Verde - UNIBAVE, Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica, CICECO, Universidade de Aveiro. Estudo da Diminuição da Rugosidade da Superfície de telhas cerâmicas. **Revista Tempo Técnico - Soluções Técnicas em Cerâmica**, Criciúma, SC: Edição 05. p. 16 -28. 2012.

FIGUEIREDO. Samia Codeiro. **Estudo exploratório de incorporação da lama de filtros rotativos a vácuo (LFRV), gerada na Millennium Inorganic Chemicals, em uma matriz cerâmica vermelha**. Universidade Federal da Bahia - UFBA, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Ambiental - DEA, Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo. Salvador-BA, 2008.

Disponível em:

<http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/dissertacoes/dis_samia_figueiredo.pdf>. Acesso em 21/05/2013.

GOUVEIA, F.P., **Efeito da incorporação de chamote (resíduo cerâmico queimado) em massas cerâmicas para a fabricação de blocos de vedação para o Distrito Federal-DF. Um estudo experimental**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília - DF, Março de 2008, 94p.

GOUVEIA, F.P., SPOSTO, R.M. Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de tecnologia, Universidade de Brasília – UnB, Brasília-DF, **Incorporação de chamote em massa cerâmica para a produção de blocos. Um estudo das propriedades físico-mecânicas**. Revista Cerâmica, Ano LV, Vol. 55, 336 – Out/Nov/2009. Pg 415-419.

HENRIQUES Jr., Maurício F. *et al.*, INT - Instituto Nacional de tecnologia - Ministério a Ciência e Tecnologia. **Manual de Conservação de Energia na Indústria de Cerâmica Vermelha**, Bloch Editores S/A, Rio de Janeiro - RJ, Setembro 1993, 40 p.

LOYOLA, Luciano Cordeiro de. **As Argilas e a Cerâmica Vermelha-I** Seminário sobre competitividade na indústria cerâmica e olarias do este do Paraná, Curitiba - PR, Março de 2004. 45 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Brasília, 2010. Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em 26/03/2013.

MACCARI, Idê M. S. **Morro da Fumaça: Passado e Presente**. Morro da Fumaça - SC. Editora Soller, 2005. 58 p. Il.

MACHADO, Felipe. FEEVALE, **Cerâmica Vermelha - Histórico de Cerâmica no Brasil**, novembro/2010. Disponível na internet em: <http://prezi.com/vle_pyc3637i/feevale_ceramica-vermelha> acesso em 01/07/2013.

MAFRA, A.T.. **Proposta de indicadores de desempenho para a indústria de cerâmica vermelha**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis/SC, Março de 1999, 113p.
Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/disserta99/antero/>> Acesso em 25/02/2013

MARINO, L.F.B e BOSCHI, A.O. **A expansão térmica de materiais cerâmicos**. Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia de Materiais, Laboratório de Revestimentos Cerâmicos. Cerâmica Industrial, 1998, pg. 23-33.
Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v03n03/v3n3_3.pdf>.
Acesso em 21/05/2013.

MÁS, Edgard. **A Queima Cerâmica Forno a Forno**. Pólo Produções, 2006, 100 p.

MULLER, L. E. Soares *et al.* **Curso Básico de Cerâmica Vermelha Estrutural**. Santa Maria, UFSM, 1990. 135 p.

NOVACER, Revista. **A indústria cerâmica nos 100 anos de colonização de Morro da Fumaça**. Edição 03 - Maio 2010, p. 30-39.

OLIVEIRA, Amando Alves. **Tecnologia em Cerâmica**. Criciúma-SC. Editora Lara, 2011, 176 p.

OLIVEIRA, Fabson Emerson Marrocos de. UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campos Angicos, Curso de Ciência e Tecnologia, **Acompanhamento da Produção Industrial em Cerâmica da Microrregião do Vale do Assu: Estudo de Caso**. Monografia, Angicos, RN. 2011. Disponível na internet em:
<<http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/232/arquivos/Fabson%20Emerson%20Marrocos%20de%20Oliveira.pdf>> acesso em 01/07/2013.

PAGNAM, Sérgio. Entrevista com o presidente do SINDICER, sobre o setor de cerâmica estrutural, Morro da Fumaça - SC, 2011.

PEREIRA ABRAHÃO, W.A. & VARGAS DE MELLO, J.W. **Recuperação de Áreas Degradadas**, Viçosa, 1998.

PMI. **Prefeitura Municipal de Içara**.

Disponível em: <<http://www.icara.sc.gov.br>> Acesso em: 20 de março de 2013;

PMMF - **Prefeitura Municipal de Morro da Fumaça**.

Disponível em: <<http://www.morrodafumaca.sc.gov.br>>, Acesso em 21 de março de 2013.

PNMAII - **Diretrizes para Reabilitação de Áreas de Preservação Permanente** - Projeto Suinocultura Santa Catarina, MMA/FATMA/EMBRAPA/EPAGRI, Projeto em andamento.

PROGESC. **Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina**: Fontes de Poluição. Criciúma, 1995.

RIBEIRO, M. J.; FERREIRA, A. A. L.; LABRINCHA, J. A. **Aspectos Fundamentais Sobre a Extrusão de Massas de Cerâmicas Vermelhas**. Cerâmica Industrial, 8 (1) Janeiro/Fevereiro, 2003.

RIELLA, Humberto Gracher. **Cerâmica - dos minerais à porcelana**. 1ª ed. Editora Tecart, São Paulo, 2010. 157p.

ROSSI, Maria Alice Porto. **As Argilas**. Mato Grosso do Sul, 1999.
Disponível em: <http://www.portorossi.art.br/as_argilas.htm>. Acesso em 22/02/2013.

SANTIS, B.C, USP - Universidade de São Paulo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos. **Agregado leve de argila calcinada para uso em concreto estrutural: Viabilidade de cerâmica vermelha do estado de São Paulo**. Dissertação. São Carlos, SP. 2012. Disponível na internet em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-01022013-153644/pt-br.php>> acesso em 01/07/2013.

SANTOS, P.S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. 2 ed. São Paulo, 1989. 408p.

SECTEME - Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia das Minas e Energia. **Diagnóstico do setor de cerâmica vermelha em Santa Catarina**. Florianópolis: SECTEME, 1990, 77p.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Cerâmica Vermelha para construção: Telhas, tijolos e tubos**. 2008.
Disponível em:
<<ftp://ftp.unilins.edu.br/jccampos/Curso%20Gradua%E7%E3o%20Civil%20-%20Tecnologia%20dos%20Materiais/Aulas%20TecMatII%20-%20101.057%20-%20pdf/Cer%E2mica%20Vermelha%20-%20Sebrae.pdf>> Acesso em 09/03/2013.

SINDICER - Sindicato da Indústria de Cerâmica Vermelha. **Cartilha da Indústria de Cerâmica Vermelha, Extração de Argila e Areia**. Morro da Fumaça - SC, Abril 2005, 23p.

SINDICER - Sindicato da Indústria de Cerâmica Vermelha. **Matérias-Primas Naturais**. 2006, Disponível em: <http://www.sindicermf.com.br/materias-primas-naturais.html> Acesso em 03/02/2013.

TELOEKEN, A.C.; VILLANOVA, D.L.; BASEGIO, T.M.; BERGMAN, C.P.. Laboratório de Materiais Cerâmicos - LACER, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Instituto Federal do Rio Grande do Sul - IFRS. Utilização de lodo galvânico como matéria prima em cerâmica vermelha e caracterização dos corpos cerâmicos obtidos quanto a propriedades tecnológicas e a imobilização de metais. **Revista Tempo Técnico - Soluções Técnicas em Cerâmica**. Criciúma, SC: Edição 03. p. 10 -20. 2012.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Manual de planejamento e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

TUBINO, L. C. B., BORBA, P. **Etapas do processo cerâmico e sua influência no produto final** - massa, extrusão, secagem e queima. SENAI-RS. 18. (Dossiê Técnico do Centro de Educação Profissional SENAI Nilo Bettanin), 2006.

VASCONCELOS, Fabiana. **Restos de tijolos formam bloco mais resistente**, SECOM – Universidade de Brasília, Fev. 2009 Disponível na Internet pelo site: http://www.arqbrasil.arq.br/_arqdoc/textos/arqdoc_027.htm Acesso em 27/05/2013.

VERÇOSA, G. J. **Materiais de construção I**. 1987. 153 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Santa Maria. Santa Maria.

VIEIRA, C.M.F., TEIXEIRA, S.S., MONTEIRO, S.N. Universidade Estadual no Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV. **Efeito da Temperatura de queima nas propriedades e microestrutura de cerâmica vermelha contendo chamote**. Revista Cerâmica. Ano LV. Vol 55, 335. Jul/Ago/Set/2009. Pg 332-336.

WITKOWSKI, R.S. SENAI, **Densidade, Fator de Conversão e Empolamento**, 2007. Disponível na internet pelo site: http://www.acdeliberato.net/Senai/_Professores/Renato/RME%20II/TABELA%201.doc Acesso em 03/06/2013.

ZANDONADI, A.R. & IOSHIMOTO, E. **Cerâmica Vermelha. Curso Internacional de Treinamento em Grupo em Tecnologia Cerâmica**. São Paulo: IPT/JICA, 1991. 20p.

ZANELATTO, João Henrique. **As condições de vida dos trabalhadores de olarias de Morro da Fumaça**. Criciúma, SC: FUCRI, 1993. 34 p.

APÊNDICE (A)
Formulário

Equação da umidade ideal por média ponderada

$$U_{ideal}(\%) = \frac{(m_A \times U_A \%) + (m_B \times U_B \%) + (m_C \times U_C \%)}{m_t} \quad [01]$$

Onde:

U_{ideal} : Umidade Ideal (%)

U_A : Umidade ideal de plasticidade da argila A (%)

U_B : Umidade ideal de plasticidade da argila B (%)

U_C : Umidade *in natura* do chamote (%)

m_t : Massa total ($m_A + m_B + m_C$) (g)

m_A : Massa seca da argila A (g)

m_B : Massa seca da argila B (g)

m_C : Massa seca do Chamote (g)

Equação da umidade *in natura*

$$U(\%) = \frac{(m_u - m_s)}{m_u} \times 100 \quad [02]$$

Onde:

U = umidade (%)

m_u = massa úmida (g)

m_s = massa seca (g)

Equação da deformação plástica

$$\varepsilon(\%) = \frac{(h_0 - h_f)}{h_0} \times 100 \quad [03]$$

Onde:

ε = deformação plástica;

h_0 = altura inicial;

h_f = altura final.

Equação para obtenção de resíduo bruto

$$Rb(\%) = \frac{m_r}{m_{am}} \times 100 \quad [04]$$

Onde:

Rb = percentual de resíduo bruto (%)

m_r = massa retida na peneira (g)

m_{am} = massa da amostra inicial (g)

Equação para retração térmica linear de secagem

$$RLS = \frac{Li-Lf}{Li} \times 100 \quad [05]$$

Onde:

RLS = retração linear de secagem (%)

Li = comprimento inicial das peças cruas (mm)

Lf = comprimento final pós-secagem (mm)

Equação para retração térmica linear de queima

$$RLQ = \frac{L_S-L_Q}{L_S} \times 100 \quad [06]$$

Onde:

RLQ = retração linear de queima (%)

L_S = comprimento inicial da peça seca (mm)

L_Q = comprimento final pós queima (mm)

Equação para obtenção da densidade aparente

$$\rho_{ap} = \frac{m}{(m_s - m_i)} \quad [07]$$

Onde:

ρ_{ap} = densidade aparente (g/cm³)

m = massa inicial do corpo-de-prova (g)

$m_s - m_i = V$ = corresponde à diferença entre a massa saturada e a massa imersa no líquido, compatível com o volume do corpo em imersão (cm³)

Equação para obtenção da densidade relativa

$$\rho_{rel} = \frac{\rho_{ap}}{\rho_t} \quad [08]$$

Onde:

ρ_{rel} = densidade relativa

ρ_{ap} = densidade aparente (g/cm³)

ρ_t = densidade teórica (g/cm³)

Equação de perda ao fogo

$$PF (\%) = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100 \quad [09]$$

Onde:

PF = perda ao fogo

Pi = massa inicial (g)

Pf = massa final(g)

Equação da absorção de água

$$AA (\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad [10]$$

Onde:

AA = absorção de água (%)

m_u = massa úmida (g)

m_s = massa seca (g)

Equação para obtenção da porosidade aparente

$$Pa (\%) = \frac{m_u - m_s}{m_u - m_i} \times 100 \quad [11]$$

Onde:

Pa = porosidade aparente (%)

m_u = massa úmida (g)

m_s = massa seca (g)

m_i = massa imersa (g)

Equação da resistência mecânica à compressão diametral

$$\sigma_T = \frac{2 \times F}{\pi \times D \times e} \quad [12]$$

Onde:

σ_T = resistência à tração indireta via compressão diametral (MPa)

F = carga de ruptura (N)

D = diâmetro (mm)

e = espessura do corpo de prova (mm)

Equação da resistência mecânica à compressão

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [13]$$

Onde:

σ = Resistência mecânica à compressão (MPa)

F = Carga de ruptura

A = Área de contato (mm²)

APÊNDICE (B)
Resultados dos Ensaio Laboratoriais

Resultados da Etapa 1

Retração Térmica Linear de Secagem (%)

Amostra	Retr.de secag.	Desvio Padrão
Arg. A	6,35	1,444385343
Arg. B	5,68	0,514905669
STD	7,29	0,441844505
F1	7,10	0,555362064
F2	6,84	0,559526594
F3	6,36	0,52759658
F4	6,22	0,332153918

Fonte: Autor (2013).

Densidade Aparente (%)

Amostra	Dens. Apar.	Desvio Padrão
Arg. A	1,79	0,018643628
Arg. B	1,67	0,009832946
STD	1,76	0,013350171
F1	1,74	0,023066033
F2	1,73	0,016077519
F3	1,74	0,021424003
F4	1,71	0,016815467

Fonte: Autor (2013).

Retração Térmica Linear de Queima (%)

Amostra	Ret. de queima	Desvio Padrão
Arg. A	2,05	1,590168336
Arg. B	0,32	0,21812651
STD	0,45	0,272233778
F1	0,83	0,52831701
F2	1,13	0,642968628
F3	0,73	0,521193848
F4	0,57	0,562619563

Fonte: Autor (2013).

Densidade Relativa (%)

Amostra	Dens. Relat.	Desvio Padrão
Arg. A	0,70	0,009904809
Arg. B	0,64	0,007111186
STD	0,70	0,006725022
F1	0,69	0,019551336
F2	0,68	0,007321185
F3	0,68	0,010249589
F4	0,67	0,007293646

Fonte: Autor (2013).

Perda ao Fogo (%)

Amostra	Perda ao fogo	Desvio Padrão
Arg. A	8,15	1,122924134
Arg. B	5,78	0,57481036
STD	6,38	0,342205731
F1	6,49	1,201040219
F2	6,18	0,387587452
F3	6,07	0,38725791
F4	5,94	0,438703256

Fonte: Autor (2013).

Porosidade Aparente (%)

Amostra	Poros. Apar.	Desvio Padrão
Arg. A	29,63	0,99048089
Arg. B	35,64	0,71111862
STD	30,36	0,67250224
F1	30,63	1,95513359
F2	32,21	0,73211846
F3	31,76	1,02495892
F4	33,29	0,72936465

Fonte: Autor (2013).

Absorção de Água (%)

Amostra	Abs. de água	Desvio Padrão
Arg. A	16,57	0,640646774
Arg. B	21,35	0,475390814
STD	17,29	0,508284799
F1	17,61	1,29883444
F2	18,64	0,587045282
F3	18,30	0,775149431
F4	19,47	0,489132067

Fonte: Autor (2013).

Resistência Mecânica Diametral (MPa)

Amostra	Resistência	Desvio Padrão
Arg. A	4,80	0,87924548
Arg. B	2,15	0,313012978
STD	3,90	0,460775967
F1	3,92	0,615650155
F2	3,28	0,623676812
F3	3,63	0,63536865
F4	3,99	0,283630196

Fonte: Autor (2013).

Resultados da Etapa 2

Umidade (%)

Amostra	Umidade	Desvio Padrão
STD	23,70	0,194881
F4	21,42	0,085617

Fonte: Autor (2013).

Retração Térmica Linear de Secagem (%)

Amostra	Retr. de Secagem	Desvio Padrão
STD	6,68	0,839486
F4	5,73	0,501505

Fonte: Autor (2013).

Retração Térmica Linear de Queima (%)

Amostra	Retr. de Queima	Desvio Padrão
STD	0,89	0,537999
F4	0,58	0,473114

Fonte: Autor (2013).

Perda ao Fogo (%)

Amostra	Perda ao Fogo	Desvio Padrão
STD	6,89	0,065498
F4	5,66	0,108633

Fonte: Autor (2013).

Absorção de Água (%)

Amostra	Absorção de Água	Desvio Padrão
STD	13,99	0,673849
F4	17,42	0,54312

Fonte: Autor (2013).

Resistência Mecânica (MPa)

Amostra	Resistência Mecânica	Desvio Padrão
STD	2,36	0,615644
F4	2,61	0,806125

Fonte: Autor (2013).

ANEXO (A)**Relatório de Ensaio – Análises de Caracterização e Classificação de Resíduos
Sólidos**



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT
Laboratório de Resíduos Sólidos

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 14/2013

ANÁLISES DE CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
(SEGUNDO ABNT NBR 10004:2004)



CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS - NBR 10004:2004

Cliente: ALEXANDRE ZACCARON

Endereço: Giacomino Serafim, 120 – Morro da Fumaça – SC

CEP: 88830-000

Telefone: (48) 3434-3234 / 9956-9710

Atividade da empresa: Fabricação de peças de cerâmica vermelha.

Interessado: Alexandre Zaccaron

REALIZADO POR: Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnologias – IPAT/UNESC

Endereço: Rodovia Jorge Lacerda, km 4,5 – Bairro Sangão – Criciúma – Santa Catarina.

Telefone: (48) 3444-3731

CEP: 88805 – 350

Caixa Postal: 3167

CRQ: 0992 - 13ª Região – SC

DADOS DA AMOSTRA

Resíduo: Chamote (Cacos de tijolos queimados moídos)

Origem do Resíduo: Cacos resultantes das quebras na retirada dos tijolos dos fornos, após a queima.

Descrição do Resíduo: Cacos de tijolos queimados moídos.

Forma de Estocagem: Pátio da empresa.

Ponto de coleta: Interior do forno.

Data da coleta: 18/03/2013

Hora da Coleta: Não consta

Data da entrada no laboratório: 18/03/2013

Nº da amostra no laboratório: 75141

Número da ficha de coleta: Não consta

Coletor: Alexandre Zaccaron

Metodologia: As metodologias utilizadas pelo Laboratório de Solos são baseadas “SW 846-3050B (USEPA 1986, *Test Method for Evaluating Solid Waste Report Number SW-846*, Washington, DC).” e as referências:

Norma NBR 10004 da ABNT – Classificação de Resíduos Sólidos

Norma NBR 10005 da ABNT – Ensaio de Lixiviação

Norma NBR 10006 da ABNT – Ensaio de Solubilização

Norma NBR 10007 da ABNT – Amostragem de Resíduos

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO RESÍDUO

Aspecto: Sólido (cacos de tijolos queimados e moídos)

Coloração: Marrom avermelhado

Odor: Inodoro

Umidade a 105°C (%): 13,13

Densidade (g/cm³): 1,0

Líquidos Livres: Ausente (Método de acordo com a norma ABNT NBR 12988).



Foto do resíduo

RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

1. ENSAIO NA MASSA BRUTA

1.1 CORROSIVIDADE

Parâmetro	Resultado	Valor Recomendado	L.Q.
pH em água (1:1)	5,09	2 a 12,4	0,10

1.2 REATIVIDADE

Parâmetros	Resultados (mg/kg)	Limite Liberável por kg de Resíduo	L.Q.
Ácido Cianídrico (HCN) ⁽¹⁾	NA	250mg de HCN	0,05
Ácido Sulfídrico (H ₂ S)	< 0,1	500mg de H ₂ S	40,0
Óleos e Graxas	< 1	Ausente	1

2. ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO INORGÂNICOS

Parâmetros	Resultados (mg/L)	Limite Máximo no Lixiviado (mg/L)	L.Q.
Arsênio	0,374	1,0	0,001*
Bário	0,5	70,0	0,1
Cádmio	< 0,01	0,5	0,01
Chumbo	< 0,05	1,0	0,05
Cromo Total	< 0,02	5,0	0,02
Fluoreto	< 0,1	150,0	0,1
Mercúrio	< 0,001	0,1	0,001**
Prata	< 0,01	5,0	0,01
Selênio	< 0,001	1,0	0,001*

DADOS DO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO

Sólidos Secos (%)	86,87
Solução Extratora Nº	1
pH do extrato lixiviado (inicial)	5,62
pH do extrato lixiviado (final)	5,00
Tempo de Lixiviação (Hora)	18
Volume Lixiviado (mL)	500

3. ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO

Parâmetros	Resultados (mg/L)	Limite Máximo no Extrato (mg/L)	L.Q.
Alumínio	< 0,1	0,2	0,1
Arsênio	< 0,001	0,01	0,001*
Bário	NA	0,7	0,1
Cádmio	NA	0,005	0,0001*
Chumbo	NA	0,01	0,001*
Cianeto	NA	0,07	0,05
Cloreto	NA	250,0	0,1
Cobre	NA	2,0	0,01
Cromo Total	NA	0,05	0,02
Fenóis Totais	NA	0,01	0,01
Ferro	0,04	0,3	0,02
Fluoreto	NA	1,5	0,1
Manganês	0,21	0,1	0,01
Merúrio	NA	0,001	0,001**
Nitrato (expresso em N)	NA	10,0	0,1
Prata	NA	0,05	0,01
Selênio	NA	0,01	0,001*
Sódio	10,17	200,0	0,01
Sulfato (expresso em SO ₄)	58,0	250,0	10,0
Surfactantes	NA	0,5	0,1
Zinco	NA	5,0	0,01

DADOS DA SOLUBILIZAÇÃO

Umidade a 42°C (%)	12,77
pH inicial	5,55
pH do extrato solubilizado (final)	5,60

Observações:

- ⁽¹⁾ – Ensaio terceirizado.
- NA = Não Analisado.
- L.Q. = Limite de Quantificação.
- Os metais foram analisados por Espectrofotometria de Absorção Atômica: Chama, * Forno de Grafite e ** Vapor a Frio.

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

1. CORROSIVIDADE:

O resíduo é caracterizado como **não corrosivo**, pois apresenta pH = 5,09 em sua mistura com água na proporção de 1:1 em peso, não ultrapassando o limite estabelecido pela norma **ABNT NBR 10004:2004**, letra **a** do item **4.2.1.2 Corrosividade**. Portanto, o resíduo é classificado como **não perigoso** neste ensaio.

2. REATIVIDADE:

O resíduo ensaiado é caracterizado como **não reativo**, pois não apresenta em sua constituição íon sulfeto acima do limite estabelecido pela norma **ABNT NBR 10004:2004**, letra **e** do item **4.2.1.3 Reatividade**. Portanto, o resíduo é classificado como **não perigoso** neste ensaio.

4. TOXICIDADE:

4.1. ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO:

Os parâmetros analisados no extrato obtido segundo a **ABNT NBR 10005:2004**, não apresentam concentrações acima dos limites máximos permitidos do item **4.2.1.4 toxicidade**, letra **a**, **anexo F** da norma **ABNT NBR 10004:2004**, caracterizando o resíduo como **não tóxico**, sendo classificado como **não perigoso** neste ensaio.

5. ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO:

Dos parâmetros analisados no extrato obtido segundo a **ABNT NBR 10006:2004**, o **mangânês** apresenta concentração superior ao padrão para o ensaio de solubilização, **anexo G** da **ABNT NBR 10004:2004**, caracterizando-o como não inerte neste ensaio e classificando-o como resíduo **não perigoso - classe II A - Não Inerte**.

CONSIDERAÇÕES FINAIS:

O resíduo não consta nos anexos A ou B.

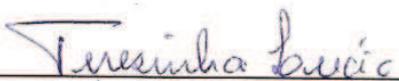
Não é inflamável.

Considerando os resultados obtidos no decorrer dos ensaios da massa bruta, lixiviação, solubilização e das características Físico-Químicas do resíduo, o mesmo (**Chamote - Cacos de tijolos queimados**) é classificado como **Classe II A – Não Inerte** segundo a norma **ABNT NBR 10004:2004**, nos parâmetros analisados.

A identificação dos constituintes (parâmetros) avaliados na caracterização foi estabelecida de acordo com o processo que deu origem ao resíduo, matérias-primas, insumos e a segregação do mesmo. Dados fornecidos pelo interessado.

CLASSIFICAÇÃO: RESÍDUO NÃO PERIGOSO - CLASSE II A – NÃO INERTE.

Criciúma, 25 de abril de 2013.



Responsável Técnico
Química Teresinha Lúcio - CRQ 13200109

Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.

ANEXO (B)
Relatório de Ensaio – Análise Química

Identificação do Cliente/Solicitante:

Nome: Alexandre Zaccaron
Endereço: Rua Giacomo Serafim, 120 - Bairro: Centro
Cidade: Morro da Fumaça **UF:** SC **CEP:** 08830-000

Informações da Amostra:

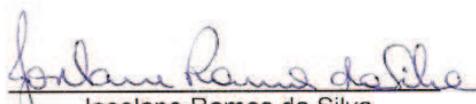
Identificação da Amostra: Argila A
Amostra: Matéria-Prima **Tipo de Amostra:** Argila
Quantidade de Amostra: 190g **Data do recebimento:** 19/3/2013
Forma da amostra: In Natura **Nº da Requisição do Serviço:** Não declarado

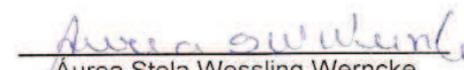
**DETERMINAÇÃO DA ANÁLISE QUÍMICA POR ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X
E ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA**

Ensaio Realizado Segundo: PR-CRI-097, PR-CRI-098 e PR-CRI-103

Ensaio finalizado em: 22/3/2013

Elementos	Teor (%)	Elementos	Teor (%)
Al ₂ O ₃	15,60	B ₂ O ₃	-
CaO	0,15	Li ₂ O	-
Fe ₂ O ₃	3,92	BaO	-
K ₂ O	1,24	Co ₂ O ₃	-
MgO	0,43	Cr ₂ O ₃	-
MnO	< 0,05	PbO	-
Na ₂ O	0,20	SrO	-
P ₂ O ₅	< 0,05	ZnO	-
SiO ₂	70,66	ZrO ₂ +HfO ₂	-
TiO ₂	1,02	Perda Fogo	6,70


 Joselane Ramos da Silva
 Técnico(a) LDCM


 Aurea Stela Wessling Werncke
 Coordenadora LDCM (CRQ 13400213)

CLAUSULAS DE RESPONSABILIDADE: Os resultados tem significação restrita, aplicando-se tão somente à amostra ensaiada. / Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem e identificação da amostra a menos que esta tenha sido efetuada mediante supervisão do CTCmat/LDCM. Salvo menção expressa, as amostras foram selecionadas pelo solicitante. / A reprodução deste relatório só será autorizada na forma de uma reprodução integral. / O CTCmat não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidos no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas ao estudo. / Os resultados que são obtidos através de cálculos matemáticos são apresentados com valores arredondados. / O cliente possui um prazo máximo de 45 dias, a partir da data de emissão do relatório, para contestar os resultados contidos neste. Somente será aceita a contestação se a quantidade da amostra entregue, quando da solicitação respeitar a quantidade mínima para cada ensaio. Após este período, a amostra será descartada.

Identificação do Cliente/Solicitante:

Nome: Alexandre Zaccaron
 Endereço: Rua Giacomo Serafim, 120 - Bairro: Centro
 Cidade: Morro da Fumaça

UF: SC CEP: 08830-000

Informações da Amostra:

Identificação da Amostra: Argila B
 Amostra: Matéria-Prima
 Quantidade de Amostra: 190g
 Forma da amostra: In Natura

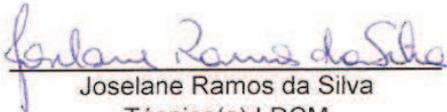
Tipo de Amostra: Argila
 Data do recebimento: 19/3/2013
 Nº da Requisição do Serviço: Não declarado

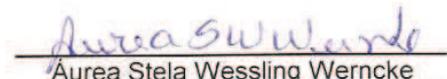
**DETERMINAÇÃO DA ANÁLISE QUÍMICA POR ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X
 E ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA**

Ensaio Realizado Segundo: PR-CRI-097, PR-CRI-098 e PR-CRI-103

Ensaio finalizado em: 27/3/2013

Elementos	Teor (%)	Elementos	Teor (%)
Al ₂ O ₃	18,52	B ₂ O ₃	-
CaO	0,08	Li ₂ O	-
Fe ₂ O ₃	8,87	BaO	-
K ₂ O	2,48	Co ₂ O ₃	-
MgO	0,67	Cr ₂ O ₃	-
MnO	< 0,05	PbO	-
Na ₂ O	0,09	SrO	-
P ₂ O ₅	0,09	ZnO	-
SiO ₂	62,29	ZrO ₂ +HfO ₂	-
TiO ₂	0,96	Perda Fogo	5,88


 Joselane Ramos da Silva
 Técnico(a) LDCM


 Aurea Stela Wessling Werncke
 Coordenadora LDCM (CRQ 13400213)

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE: Os resultados tem significação restrita, aplicando-se tão somente à amostra ensaiada. / Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem e identificação da amostra a menos que esta tenha sido efetuada mediante supervisão do CTCmat/LDCM. Salvo menção expressa, as amostras foram selecionadas pelo solicitante. / A reprodução deste relatório só será autorizada na forma de uma reprodução integral. / O CTCmat não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidos no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas ao estudo. / Os resultados que são obtidos através de cálculos matemáticos são apresentados com valores arredondados. / O cliente possui um prazo máximo de 45 dias, a partir da data de emissão do relatório, para contestar os resultados contidos neste. Somente será aceita a contestação se a quantidade da amostra entregue, quando da solicitação respeitar a quantidade mínima para cada ensaio. Após este período, a amostra será descartada.

Identificação do Cliente/Solicitante:

Nome: Alexandre Zaccaron
 Endereço: Rua Giacomo Serafim, 120 - Bairro: Centro
 Cidade: Morro da Fumaça

UF: SC CEP: 08830-000

Informações da Amostra:

Identificação da Amostra: Chamote
 Amostra: Matéria-Prima
 Quantidade de Amostra: 190g
 Forma da amostra: In Natura

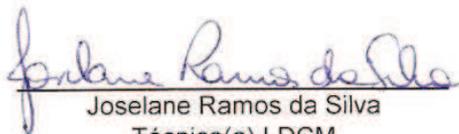
Tipo de Amostra: Não declarado
 Data do recebimento: 19/3/2013
 Nº da Requisição do Serviço: Não declarado

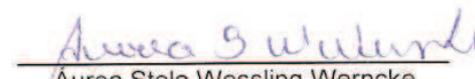
**DETERMINAÇÃO DA ANÁLISE QUÍMICA POR ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X
 E ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA**

Ensaio Realizado Segundo: PR-CRI-097, PR-CRI-098 e PR-CRI-103

Ensaio finalizado em: 22/3/2013

Elementos	Teor (%)	Elementos	Teor (%)
Al ₂ O ₃	16,82	B ₂ O ₃	-
CaO	0,17	Li ₂ O	-
Fe ₂ O ₃	5,02	BaO	0,17
K ₂ O	1,58	Co ₂ O ₃	< 0,1
MgO	0,49	Cr ₂ O ₃	< 0,1
MnO	< 0,05	PbO	< 0,1
Na ₂ O	0,28	SrO	< 0,1
P ₂ O ₅	0,06	ZnO	< 0,1
SiO ₂	72,92	ZrO ₂ +HfO ₂	< 0,1
TiO ₂	1,00	Perda Fogo	1,45


 Joselane Ramos da Silva
 Técnico(a) LDCM


 Aurea Stela Wessling Werncke
 Coordenadora LDCM (CRQ 13400213)

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE: Os resultados tem significação restrita, aplicando-se tão somente à amostra ensaiada. / Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem e identificação da amostra a menos que esta tenha sido efetuada mediante supervisão do CTCmat/LDCM. Salvo menção expressa, as amostras foram selecionadas pelo solicitante. / A reprodução deste relatório só será autorizada na forma de uma reprodução integral. / O CTCmat não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidos no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas ao estudo. / Os resultados que são obtidos através de cálculos matemáticos são apresentados com valores arredondados. / O cliente possui um prazo máximo de 45 dias, a partir da data de emissão do relatório, para contestar os resultados contidos neste. Somente será aceita a contestação se a quantidade da amostra entregue, quando da solicitação respeitar a quantidade mínima para cada ensaio. Após este período, a amostra será descartada.

ANEXO (C)**Relatório de Ensaio – Determinação das Fases Cristalinas**

Identificação do Cliente/Solicitante:

Nome: Alexandre Zaccaron

Endereço: Rua Giacomo Serafim, 120 - Bairro: Centro

Cidade: Morro da Fumaça

UF: SC

CEP: 08830-000

Informações da Amostra:

Identificação da Amostra: Argila A

Amostra: Matéria-Prima

Quantidade de Amostra: 190g

Forma da amostra: In Natura

Tipo de Amostra: Argila

Data do recebimento: 19/3/2013

Nº da Requisição do Serviço: Não declarado

DETERMINAÇÃO DAS FASES CRISTALINAS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X - ANÁLISE RACIONAL

Ensaio Realizado Segundo: PR-CC-191

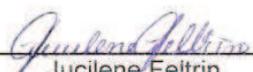
Fase Identificada	Quantificação (%)
Quartzo	85,16
Caolinita	10,67
Montmorilonita	2,82
Ilita	1,34

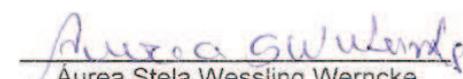
Condições Analíticas:

O equipamento utilizado no ensaio é um Difratorômetro Bruker – D8 com goniômetro theta – theta. A radiação é Ka em tubo de cobre nas condições de 40kV e 40mA. A velocidade e o intervalo de varredura do goniômetro são 1 grama de pó a 1 segundo para 0,02° do goniômetro de 2° a 72° 2 theta, respectivamente.

Obs.:

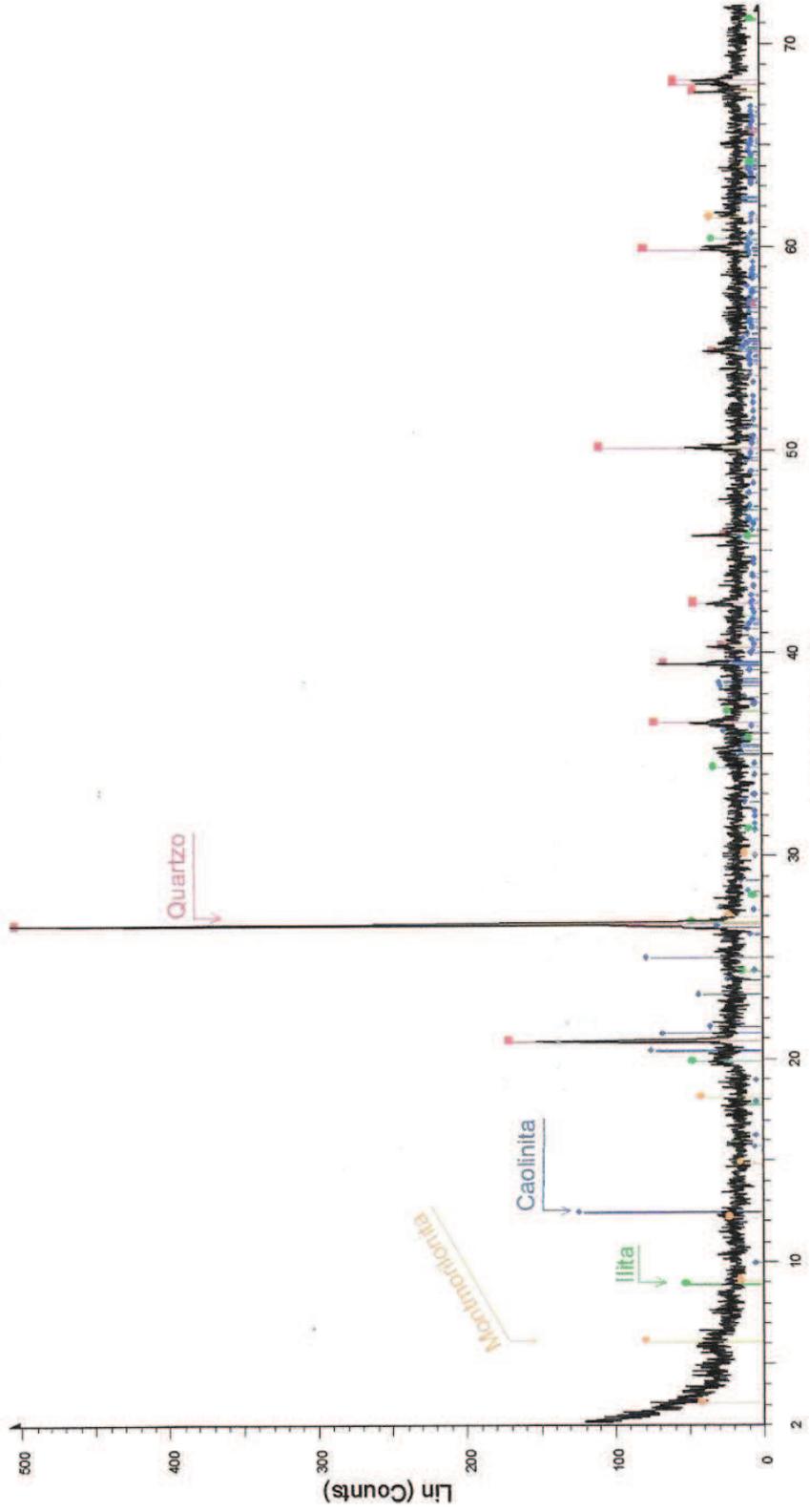
A quantificação das fases cristalinas foi feita pelo método de Rietveld com GOF:1,26 e Rwp: 28,40.


 Jucilene Feltrin
 Técnico(a) LDCM


 Aurea Stela Wessling Werncke
 Coordenadora LDCM (CRQ 13400213)

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE: Os resultados tem significação restrita, aplicando-se tão somente à amostra ensaiada. / Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem e identificação da amostra a menos que esta tenha sido efetuada mediante supervisão do CTCmat/LDCM. Salvo menção expressa, as amostras foram selecionadas pelo solicitante. / A reprodução deste relatório só será autorizada na forma de uma reprodução integral. / O CTCmat não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidos no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas ao estudo. / Os resultados que são obtidos através de cálculos matemáticos são apresentados com valores arredondados.

1435-13



1435-13 - File: 1435-13.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 72.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 19 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 °
Operations: Import
01-070-7344 (*) - Quartz - SiO2 - Y: 177.04 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91458 - b 4.91458 - c 5.40649 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.089 - I/c PDF 3
01-078-2110 (*) - Kaolinite - Al4(OH)8(Si4O10) - Y: 23.76 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.14971 - b 8.93307 - c 7.38549 - alpha 91.929 - beta 105.044 - gamma 89.792 - Primitive - P1 (1) - 1 - 327.991 - I/c P
00-009-0343 (D) - Illite, triclinic - K0.5Al1.5FeMg3(Si4)O10(OH)2 - Y: 9.59 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 5.25000 - b 9.18000 - c 20.00000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive
00-007-0051 (D) - Montmorillonite - (Na,Ca)0.3AlMg2Si2O10(OH)2.nH2O - Y: 14.93 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -

Identificação do Cliente/Solicitante:

Nome: Alexandre Zaccaron
 Endereço: Rua Giacomo Serafim, 120 - Bairro: Centro
 Cidade: Morro da Fumaça UF: SC CEP: 08830-000

Informações da Amostra:

Identificação da Amostra: Argila B
 Amostra: Matéria-Prima Tipo de Amostra: Argila
 Quantidade de Amostra: 190g Data do recebimento: 19/3/2013
 Forma da amostra: In Natura Nº da Requisição do Serviço: Não declarado

DETERMINAÇÃO DAS FASES CRISTALINAS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X - ANÁLISE RACIONAL

Ensaio Realizado Segundo: PR-CC-191

Fase Identificada	Quantificação (%)
Quartzo	81,66
Caolinita	11,75
Montmorilonita	3,59
Ilita	2,99

Condições Analíticas:

O equipamento utilizado no ensaio é um Difratorômetro Bruker – D8 com goniômetro theta – theta. A radiação é Ka em tubo de cobre nas condições de 40kV e 40mA. A velocidade e o intervalo de varredura do goniômetro são 1 grama de pó a 1 segundo para 0,02° do goniômetro de 2° a 72° 2 theta, respectivamente.

Obs.:

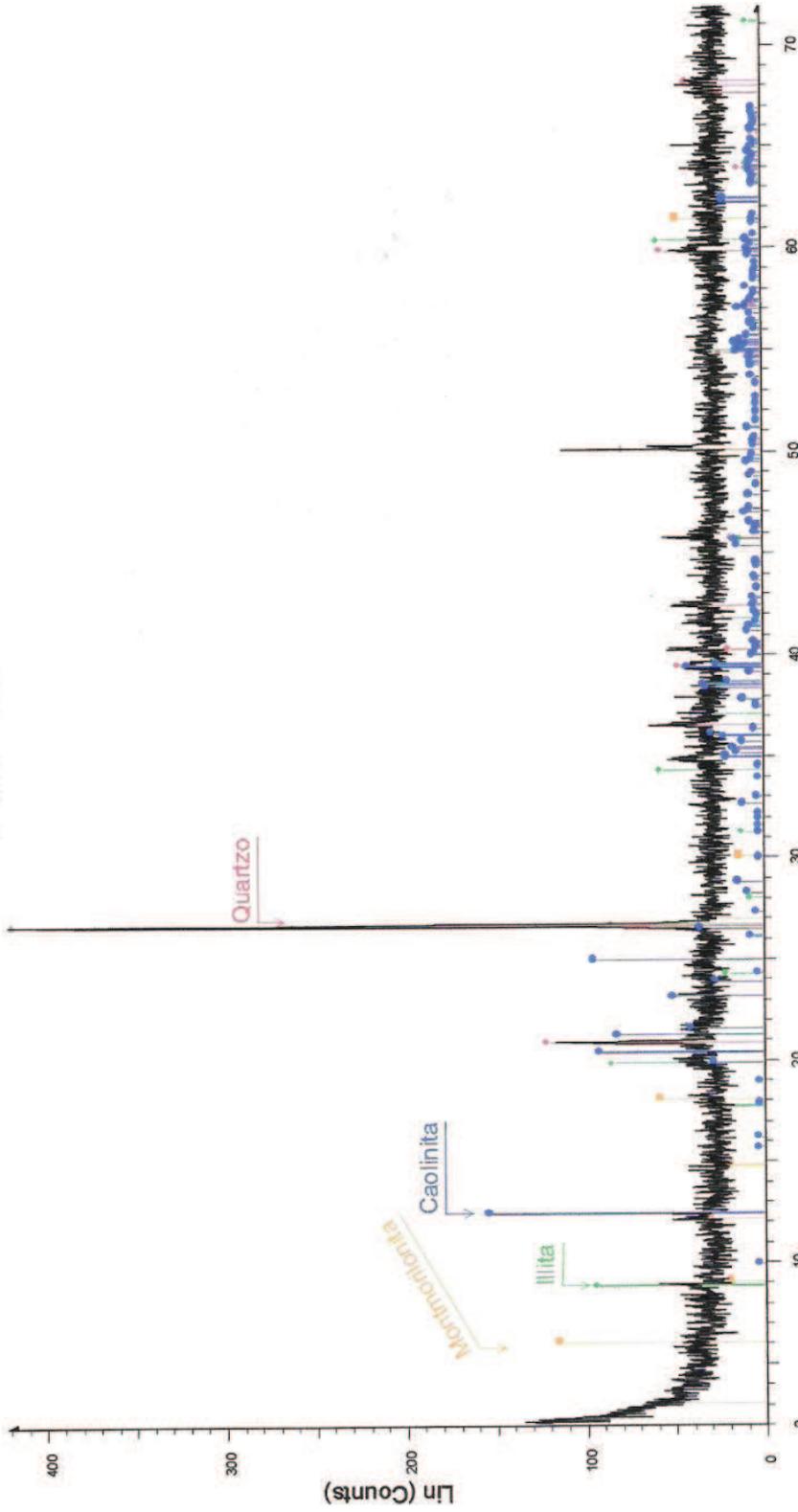
A quantificação das fases cristalinas foi feita pelo método de Rietveld com GOF:1,16 e Rwp: 20,93.

Jucilene Feltrin
 Técnico(a) LDCM

Aurea Stela Wessling Werncke
 Coordenadora LDCM (CRQ 13400213)

CLAUSULAS DE RESPONSABILIDADE: Os resultados tem significação restrita, aplicando-se tão somente à amostra ensaiada. / Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem e identificação da amostra a menos que esta tenha sido efetuada mediante supervisão do CTCmat/LDCM. Salvo menção expressa, as amostras foram selecionadas pelo solicitante. / A reprodução deste relatório só será autorizada na forma de uma reprodução integral. / O CTCmat não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidos no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas ao estudo. / Os resultados que são obtidos através de cálculos matemáticos são apresentados com valores arredondados.

1437-13



1437-13 - File: 1437-13.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000° - End: 72.000° - Step: 0.020° - Step time: 1 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 16 s - 2-Theta: 2.000° - Theta: 1.000° - Chi: 0.00° - Phi: 0.00°

Operations: Import

- 00-007-0051 (D) - Montmorillonite - (Na,Ca)0.3(Al,Mg)2Si2O10(OH)2·nH2O - Y: 26.69° - d x by: 1 - WL: 1.5406
- 01-070-7344 (*) - Quartz - SiO2 - Y: 160.81° - d x by: 1 - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91468 - b 4.91468 - c 5.40649 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P321 (154) - 3 - 113.089 - I/c PDF 3
- 00-009-0343 (D) - Illite, triclinic - K0.5(Al,Fe,Mg)3(Si,Al)4O10(OH)2 - Y: 21.74° - d x by: 1 - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 5.25000 - b 9.18000 - c 20.00000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive
- 01-078-2110 (*) - Kaolinite - Al4(OH)8(Si4O10) - Y: 35.93° - d x by: 1 - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.14971 - b 8.93507 - c 7.38549 - alpha 91.928 - beta 105.044 - gamma 89.792 - Primitive - P1 (1) - 1 - 327.991 - I/c P

Identificação do Cliente/Solicitante:

Nome: Alexandre Zaccaron
 Endereço: Rua Giacomo Serafim, 120 - Bairro: Centro
 Cidade: Morro da Fumaça UF: SC CEP: 08830-000

Informações da Amostra:

Identificação da Amostra: Chamote
 Amostra: Matéria-Prima Tipo de Amostra: Não declarado
 Quantidade de Amostra: 190g Data do recebimento: 19/3/2013
 Forma da amostra: In Natura Nº da Requisição do Serviço: Não declarado

DETERMINAÇÃO DAS FASES CRISTALINAS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X - ANÁLISE RACIONAL

Ensaio Realizado Segundo: PR-CC-191

Fase Identificada	Quantificação (%)
Quartzo	98,01
Caolinita	1,27
Ilita	0,71

Condições Analíticas:

O equipamento utilizado no ensaio é um Difratômetro Bruker – D8 com goniômetro theta – theta. A radiação é Ka em tubo de cobre nas condições de 40kV e 40mA. A velocidade e o intervalo de varredura do goniômetro são 1 grama de pó a 1 segundo para 0,02° do goniômetro de 2° a 72° 2 theta, respectivamente.

Obs.:

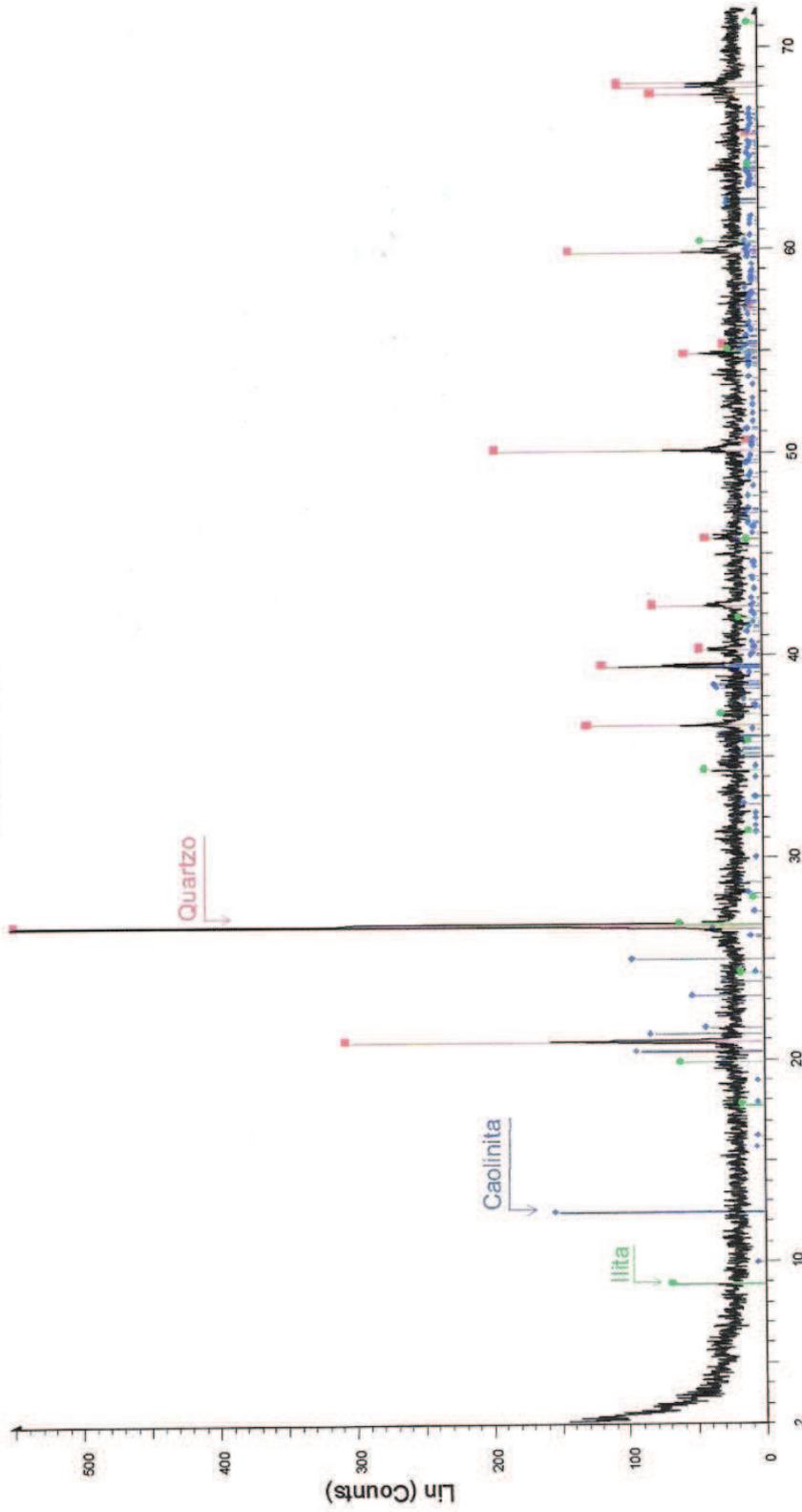
A quantificação das fases cristalinas foi feita pelo método de Rietveld com GOF: 1,23 e Rwp: 25,73.

Jucilene Feltrin
 Técnico(a) LDCM

Aurea Stela Wessling Werncke
 Coordenadora LDCM (CRQ 13400213)

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE: Os resultados tem significação restrita, aplicando-se tão somente à amostra ensaiada / Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem e identificação da amostra a menos que esta tenha sido efetuada mediante supervisão do CTCmat/LDCM. Salvo menção expressa, as amostras foram selecionadas pelo solicitante. / A reprodução deste relatório só será autorizada na forma de uma reprodução integral. / O CTCmat não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidos no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas ao estudo. / Os resultados que são obtidos através de cálculos matemáticos são apresentados com valores arredondados.

1439-13



1439-13 - File: 1439-13.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 72.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 15 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 °

Operators: Import

- 01-070-7344 (*) - Quartz - SiO2 - Y: 263.94 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a: 4.91458 - b: 4.91458 - c: 5.40849 - alpha: 90.000 - beta: 90.000 - gamma: 120.000 - Primitive - P321 (154) - 3 - 113.086 - I/c PDF 3
- 01-078-2110 (*) - Kaolinite - Al(OH)3(SiHClO) - Y: 27.11 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a: 5.14971 - b: 8.93507 - c: 7.39549 - alpha: 91.928 - beta: 105.044 - gamma: 89.792 - Primitive - P1 (1) - 1 - 327.991 - I/c P
- 00-009-0343 (D) - Illite, trioctahedral - K0.5(Al)F.e.Mg3(Si)4(OH)2 - Y: 11.66 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a: 5.25000 - b: 9.18000 - c: 20.00000 - alpha: 90.000 - beta: 90.000 - gamma: 90.000 - Primitive

ANEXO (D)

Relatório de Ensaio – Compressão de Tijolos

