

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

VICENTE DE LORENZI

**REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO SÓLIDO PROVENIENTE DA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA
CERÂMICA DE GRES PORCELLANATO**

CRICIÚMA, MARÇO DE 2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

VICENTE DE LORENZI

**REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO SÓLIDO PROVENIENTE DA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA
CERÂMICA DE GRES PORCELLANATO**

**Dissertação submetida a UNESCO -
Universidade do Extremo Sul
Catarinense, para obtenção do grau de
mestre em ciências ambientais**

CRICIÚMA, MARÇO DE 2005

**REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO SÓLIDO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA CERÂMICA DE GRES
PORCELLANATO**

VICENTE DE LORENZI

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO

RESÍDUOS SÓLIDOS

Prof. Marcos Marques Da Silva Paula, Dr., Orientador

BANCA EXAMINADORA: Prof. Humberto G. Riella, Dr. Ing

Prof. Elídio Angioleto, Dr.

Tudo tem o seu tempo.

Todas as coisas tem o seu tempo, e todas elas passam debaixo do céu segundo o tempo que a cada um foi prescrito.

Há tempo de nascer, e tempo de morrer. Há tempo de plantar, e tempo de arrancar o que se plantou.

Há tempo de matar, e tempo de sarar. Há tempo de destruir, e tempo de edificar.

Há tempo de chorar, e tempo de rir. Há tempo de afligir, e tempo de dançar. Há tempo de espalhar pedras, e tempo de as ajuntar.

Há tempo de dar abraços, e tempo de afastar-se deles. Há tempo de adquirir e tempo de perder.

Há tempo de guardar, e tempo de lançar fora. Há tempo de rasgar, e tempo de coser. Há tempo de calar, e tempo de falar.

Há tempo de amor, e tempo de ódio. Há tempo de guerra e de paz.

ECLESIASTES

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS nosso criador;

Aos meus Pais Valter e Neusa, meus irmãos Rodolfo e Valter, e minha namorada Juliana pela confiança e carinho a mim dedicados;

Ao meu orientador, Prof Dr. Marcos Marques Da Silva Paula, pela orientação e dedicação irrestrita que muito contribuíram para a finalização deste projeto;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, e IPAT, representando a Universidade do Extremo Sul Catarinense;

A empresa Eliane Revestimentos Cerâmicos LTDA pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho, e em especial às pessoas do Sr. Silvio Luis Cancellier Radamés Darolt, William de Oliveira e Douglas da Silva;

Ao CTC, de Criciúma SC, pelos ensaios físicos-químicos realizados no decorrer deste projeto;

Ao laboratório de materiais da Universidade Federal de Santa Catarina, pelos ensaios realizados;

Aos meus amigos e familiares que de maneira direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho;

Aos proprietários da Cerâmica Incotisa de Morro da Fumaça no auxílio a execução deste trabalho;

Aos professores que incentivaram-me a chegar até esta etapa, e em especial aos do Colégio Maximiliano Gaidzinski, representados em homenagem póstuma à pessoa de Nídia Joaquina Goulart.

SUMÁRIO

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| LISTA DE FIGURAS | 9 |
| LISTA DE TABELAS..... | 11 |
| RESUMO..... | 12 |
| ABSTRACT..... | 13 |
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 A Indústria de Cerâmica no Brasil | 14 |
| 1.2 As Indústrias Cerâmicas da Região Sul de Santa Catarina..... | 19 |
| 1.3 O Contexto Ambiental das Empresas no Brasil | 20 |
| 1.4 O Contexto Ambiental da Área de Estudo | 22 |
| 2 OBJETIVO..... | 25 |
| 2.1 Objetivo Geral | 25 |
| 2.2 Objetivos Específicos..... | 25 |
| 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 26 |
| 3.1 Processos de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos..... | 26 |
| 3.2 Processo de Fabricação de Cerâmica Estrutural | 30 |
| 3.2.1 A Cerâmica estrutural | 30 |
| 3.2.2 As Matérias-primas | 32 |
| 3.2.3 A Dosagem | 35 |
| 3.2.4 A Desintegração | 35 |
| 3.2.5 A Mistura | 35 |
| 3.2.6 A Laminação | 36 |
| 3.2.7 A Extrusão | 37 |
| 3.2.8 O Corte..... | 37 |
| 3.2.9 A Secagem | 37 |
| 3.2.10 A Queima | 39 |
| 3.2.11 A Inspeção, estocagem e expedição | 40 |
| 3.3 O Processo de Fabricação de Gres Porcellanato | 41 |
| 3.3.1 O Gres porcellanato..... | 41 |
| 3.3.2 Extração de matérias-primas | 42 |
| 3.3.3 Matérias-primas plásticas | 43 |

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.4 | Matérias-primas não-plásticas | 44 |
| 3.3.5 | Moagem | 46 |
| 3.3.6 | Atomização e armazenamento | 46 |
| 3.3.7 | Prensagem e secagem | 48 |
| 3.3.8 | Linha de decoração | 49 |
| 3.3.9 | Queima | 50 |
| 3.3.10 | Polimento | 51 |
| 3.3.10.1 | Máquina calibradora | 52 |
| 3.3.10.2 | Cabeçotes de polimento | 52 |
| 3.3.11 | Estação de tratamento de efluentes (ETE) | 53 |
| 3.3.12 | Classificação | 55 |
| 3.4 | Resíduos Industriais e Reciclagem | 56 |
| 3.4.1 | Leis ambientais e normas de certificação | 56 |
| 3.4.2 | A Reciclagem de resíduos sólidos na cerâmica | 59 |
| 4 | MATERIAIS E MÉTODOS | 62 |
| 4.1 | Resíduo, Massa de Tijolo e Formulações | 62 |
| 4.1.1 | Resíduo da estação de tratamento de efluentes (ETE) | 62 |
| 4.1.2 | Massa de tijolo | 63 |
| 4.1.3 | Formulações | 64 |
| 4.1.4 | Procedimentos para confecção de peças através do método de extrusão | 65 |
| 4.1.4.1 | Quarteamento | 65 |
| 4.1.4.2 | Mistura | 66 |
| 4.1.4.3 | Extrusão das massas | 66 |
| 4.1.4.4 | Secagem das peças | 67 |
| 4.1.4.5 | Queima das peças | 67 |
| 4.2 | Procedimentos para Realização dos Ensaios | 67 |
| 4.2.1 | Teste de densidade aparente | 67 |
| 4.2.2 | Retração linear | 68 |
| 4.2.3 | Absorção d'água | 69 |
| 4.2.4 | Resistência mecânica | 69 |
| 4.2.5 | Perda ao fogo | 70 |
| 4.2.6 | Colorimetria | 70 |
| 4.2.7 | Resistência à compressão | 71 |
| 4.2.8 | Dilatação térmica linear | 72 |
| 4.2.9 | Lixiviação | 72 |
| 4.2.10 | Solubilidade | 72 |
| 4.2.11 | Difração por raios - X | 73 |
| 4.2.12 | Microscopia eletrônica | 73 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 74 |
| 5.1 | Caracterização das matérias-primas | 74 |
| 5.1.1 | Lixiviação e solubilidade do resíduo | 74 |
| 5.1.2 | Distribuição granulométrica do resíduo e massa de tijolo | 75 |
| 5.1.3 | Análise química do resíduo e massa de tijolo | 77 |
| 5.1.4 | Dilatação térmica do resíduo e massa de tijolo | 79 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.1.5 Diagrama de greseificação do resíduo e massa de tijolo..... | 81 |
| 5.2 Caracterização das Formulações | 83 |
| 5.2.1 Ensaíos a seco..... | 84 |
| 5.2.1.1 Retração linear de secagem | 84 |
| 5.2.1.2 Densidade aparente a seco | 85 |
| 5.2.1.3 Resistência mecânica a seco..... | 86 |
| 5.2.2 Ensaíos pós-queima | 87 |
| 5.2.2.1 Retração linear de queima..... | 88 |
| 5.2.2.2 Densidade aparente a queimado..... | 89 |
| 5.2.2.3 Resistência mecânica a queimado..... | 90 |
| 5.2.2.4 Absorção d' água | 91 |
| 5.2.2.5 Perda ao fogo..... | 92 |
| 5.2.2.6 Colorimetria | 93 |
| 5.2.2.7 Resistência à compressão..... | 96 |
| 5.2.2.8 Dilatação térmica linear..... | 97 |
| 5.2.2.9 Lixiviação e solubilidade..... | 100 |
| 5.2.2.10 Difração de raio - X..... | 106 |
| 5.3 Análise de Custos..... | 109 |
| 6 CONCLUSÃO | 112 |
| 7 SUGESTÕES..... | 114 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 115 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Produção brasileira de revestimentos cerâmicos (em milhões de m ² /ano)..... | 15 |
| Figura 2: Distribuição regional do mercado consumidor brasileiro de revestimentos cerâmicos (%)..... | 16 |
| Figura 3: Principais produtores mundiais de revestimentos cerâmicos em milhões de m ² (ano de 2001) | 17 |
| Figura 4: Maiores exportadores de revestimentos cerâmicos no mundo em milhões de m ² (ano 2001) | 18 |
| Figura 5: Destino das exportações brasileiras de revestimentos cerâmicos (%)..... | 18 |
| Figura 6: Volume produzido (milhões m ²) pelas indústrias cerâmicas do sul de Santa Catarina | 19 |
| Figura 7: Processos de produção de revestimentos cerâmicos | 30 |
| Figura 8: Processo de produção de cerâmica estrutural | 41 |
| Figura 9: Desenho esquemático representando a estrutura do atomizador | 48 |
| Figura 10: Fluxograma da estação de tratamento de efluentes | 55 |
| Figura 11: Fluxograma do processo produtivo | 56 |
| Figura 12: Figura representativa do quarteamento | 66 |
| Figura 13: Ensaio de lixiviação do resíduo sólido | 74 |
| Figura 14: Ensaio de solubilização do resíduo sólido..... | 75 |
| Figura 15: Curva cumulativa de distribuição do tamanho de partículas do resíduo e massa de Tijolo | 76 |
| Figura 16: Curva normal de distribuição do tamanho de partículas do resíduo e massa de tijolo..... | 77 |
| Figura 17: Análise térmica linear do resíduo | 80 |
| Figura 18: Análise térmica linear da massa de tijolo | 81 |
| Figura 19: Diagrama de greseificação do resíduo | 82 |
| Figura 20: Diagrama de greseificação da massa de tijolo | 83 |
| Figura 21: Traçado gráfico de retração de secagem das formulações..... | 85 |
| Figura 22: Traçado gráfico da densidade aparente a seco das formulações | 86 |
| Figura 23: Traçado gráfico da resistência mecânica a seco das formulações | 87 |
| Figura 24: Traçado gráfico da retração de queima das formulações | 89 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 25: Traçado gráfico da densidade aparente a queimado das formulações..... | 90 |
| Figura 26: Traçado gráfico da resistência mecânica a queimado das formulações | 91 |
| Figura 27: Traçado gráfico da absorção de água das formulações | 92 |
| Figura 28: Traçado gráfico da perda ao fogo das formulações | 93 |
| Figura 29: Coordenada colorimétrica Lh das diversas formulações | 94 |
| Figura 30: Coordenada colorimétrica ah das diversas formulações | 95 |
| Figura 31: Coordenada colorimétrica bh das diversas formulações | 96 |
| Figura 32: Traçado gráfico da resistência à compressão das formulações na temperatura de queima de 1000 ° | 97 |
| Figura 33: Análise térmica linear da formulação F1, queimada na temperatura de 1000°C... | 98 |
| Figura 34: Análise térmica linear da formulação F2, queimada na temperatura de 1000°C... | 99 |
| Figura 35: Análise térmica linear da formulação F7, queimada na temperatura de 1000°C.. | 100 |
| Figura 36: Ensaio de lixiviação da formulação F1, queimada na temperatura de 1000°C.... | 101 |
| Figura 37: Ensaio de solubilidade da formulação F1, queimada na temperatura de 1000 ° C | 102 |
| Figura 38: Ensaio de lixiviação da formulação F2, queimada na temperatura de 1000 ° C | 103 |
| Figura 39: Ensaio de solubilidade da formulação F2, queimada na temperatura de 1000 ° C | 104 |
| Figura 40: Ensaio de lixiviação da formulação F7, queimada na temperatura de 1000°C..... | 105 |
| Figura 41: Ensaio de solubilidade da formulação F7, queimada na temperatura de 1000 ° C | 106 |
| Figura 42: Difração de raio-X da formulação F1, queimada na temperatura de 1000°C..... | 107 |
| Figura 43: Microscopia eletrônica da formulação F1, queimada na temperatura de 1000° C | 108 |
| Figura 44: Microscopia eletrônica da formulação F2, queimada na temperatura de 1000° C | 108 |
| Figura 45: Microscopia eletrônica da formulação F7, queimada na temperatura de 1000° C | 109 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1: Classes de resistência a compressão (Mpa) | 32 |
| Tabela 2: Principais argilominerais, e respectiva composição química | 34 |
| Tabela 3: Formulações das composições referente a incorporação de resíduo a massa de tijolo..... | 65 |
| Tabela 4: Análise química do resíduo e da massa de tijolo | 78 |
| Tabela 5: Análise de custos da geração dos resíduos sólidos e reaproveitamento na cerâmica estrutural | 110 |

RESUMO

Atualmente, empresas que buscam o aumento progressivo da credibilidade do mercado consumidor vem atuando em relação a melhoria da qualidade do meio ambiente com o intuito de encontrar alternativas para a redução de seus impactos ambientais e custos de produção. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho consiste em propor o reaproveitamento do resíduo sólido proveniente da estação de tratamento de efluentes de uma indústria cerâmica de gres porcellanato, em massas de cerâmica estrutural, mais especificamente na fabricação de tijolos para alvenaria, e com isso contribuir para a redução do consumo de matérias-primas por parte das cerâmicas estruturais e redução do impacto ambiental provocado pelo descarte do mesmo. Inicialmente o resíduo e a massa de tijolo foram caracterizados químico-fisicamente. Formulações foram realizadas com adição de 0 a 70% de resíduo, queimadas nas temperaturas de 900° C, 950° C, 1000° C 1050° e 1100° C. Os resultados demonstraram que com a incorporação de até 5% de resíduo à composição da massa de tijolo as características de absorção d' água , resistência mecânica à queimado, resistência a compressão e densidade aparente a queimado melhoraram. Em uma possível implantação do trabalho existe a estimativa, de uma economia de mais de R\$ 45.000,00 no somatório dos custos da empresa geradora e incorporadora do resíduo, além da diminuição de até 7.000 ton secas/ano do resíduo encaminhado para aterro industrial.

ABSTRACT

Nowadays, companies who search for the progressive increase of the credibility of the consuming market it comes acting in relation the improvement of the quality of the environment with the intention of finding alternatives for the reduction of their environmental impacts and costs of production. Inside of this context, the objective of this work consists of proposing the reutilization of the originating from solid residue the station of treatment of effluents of a ceramic industry of gres porcellanato, in masses of structural ceramic, more specifically in the production of bricks for masonry, and with that to contribute for the reduction of the consumption of raw materials on the part of the structural ceramic and reduction of the environmental impact provoked by the discard of the same. Initially the residue and the brick mass were characterized chemistry-physically. Formulations were accomplished with addition from 0 to 70% of residue, burning in the temperatures of 900° C, 950° C, 1000° C 1050° and 1100° C. The results demonstrated that with the incorporation of up to 5% of residue the composition of the brick mass the absorption characteristics water, mechanical resistance to the burned, resistance the compression and apparent density the burned got better. In a possible implantation of the work the estimate exists, of an economy of more of R\$ 45.000,00 in the sum of the costs of the generating company and incorporated of the residue, besides the decrease of until 7.000 ton dryer/year of the residue directed for industrial embankment.

1 INTRODUÇÃO

Com as explicações a seguir, será demonstrada a importância das indústrias do setor cerâmico na esfera nacional, sua relevância no mercado internacional, além de suas características regionais (Sul de Santa Catarina). Na continuidade, também será relatado o contexto ambiental em que as mesmas estão inseridas.

1.1 A Indústria de Cerâmica no Brasil

A indústria cerâmica tem um papel importante para a economia do país. Estudos mostram que cerca de US\$ 6,4 bilhões sejam movimentados anualmente em toda a cadeia produtiva, representando cerca de 1% de participação no PIB (Produto Interno Bruto), segundo dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica ANFACER, (2005). De acordo com essa associação, a abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas embutidas nos equipamentos industriais, fizeram com que as indústrias brasileiras evoluíssem rapidamente e muitos tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos atingissem nível de qualidade mundial com apreciável quantidade exportada.

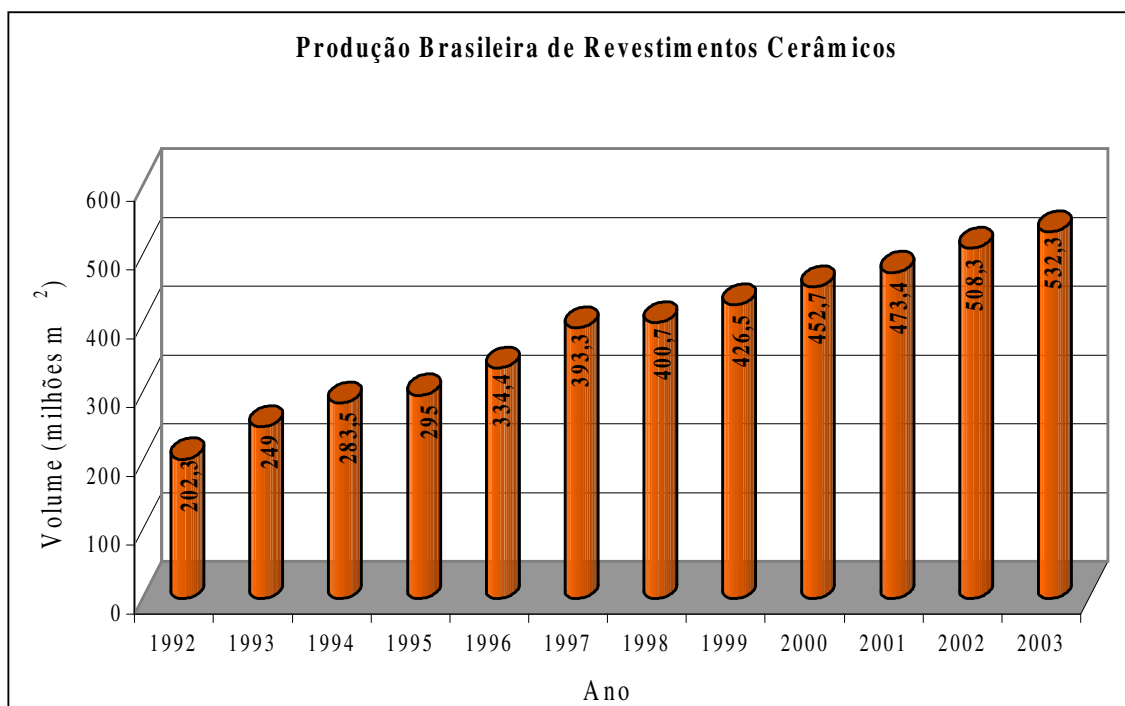
O setor industrial da cerâmica é bastante diversificado e pode ser dividido nos seguintes segmentos: cerâmica vermelha, materiais de revestimento, materiais refratários, louça sanitária, isoladores elétricos de porcelana, louça de mesa, cerâmica artística (decorativa e utilitária), filtros cerâmicos de água para usos domésticos, cerâmica técnica e isolantes térmicos. No Brasil existem todos estes segmentos, com maior ou menor grau de desenvolvimento e capacidade de produção. Além disso, existem fabricantes de matérias-

primas sintéticas para cerâmica (alumina calcinada, alumina eletrofundida, carbetto de silício e outras), de vidrados e corantes, gesso, equipamentos e alguns produtos químicos auxiliares.

A indústria brasileira de revestimentos cerâmicos consolidou-se como uma das principais do mundo ao ultrapassar a cifra de meio bilhão de metros quadrados produzidos ao longo do ano de 2002.

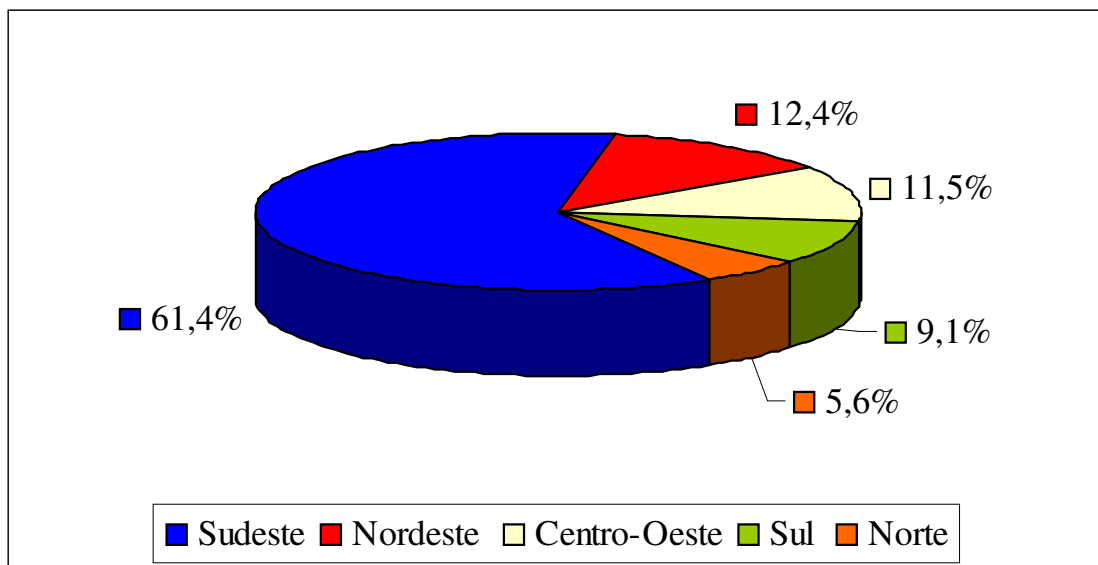
Estudos mostram que são gerados pelas 125 fábricas de cerâmica de revestimento no Brasil, considerando todas as etapas do processo (setor produtivo, comercial e serviços) cerca de 22 mil empregos diretos. A Cerâmica vermelha, por conseguinte, com as suas 7000 unidades produtoras gera cerca de 214 mil empregos diretos, segundo dados da Associação Brasileira de Cerâmica ABC, (2005). As Figuras 1 a 5 reforçam a consolidação desta estrutura e demonstram um panorama da indústria de revestimento no Brasil e no Mundo.

Figura 1– Produção brasileira de revestimentos cerâmicos (em milhões de m²/ano)



Fonte: Anfacer (2005)

Figura 2 – Distribuição regional do mercado consumidor brasileiro de revestimentos cerâmicos (%)

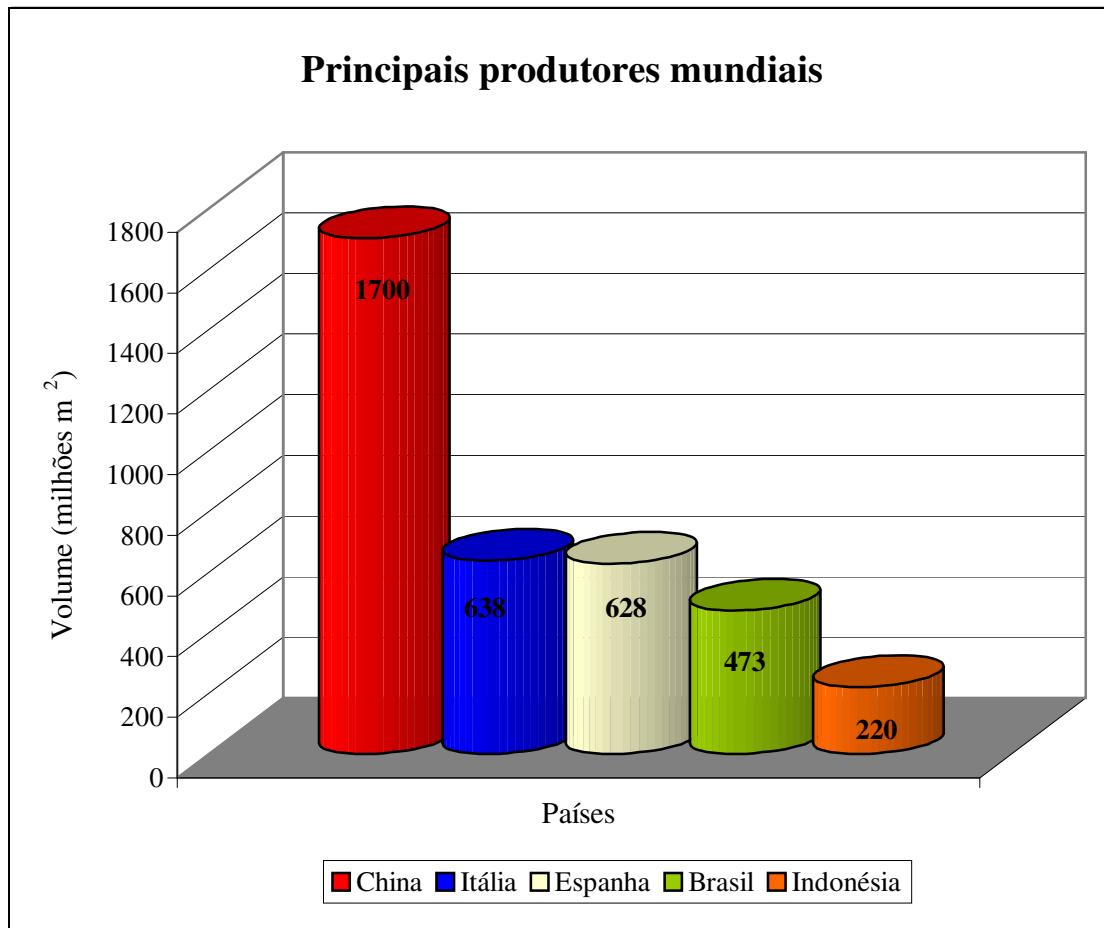


Fonte: Anfacer (2005)

O segmento tem crescido substancialmente, apresentando taxas médias em torno de 7 % ao ano. Este resultado deve-se as vantagens que o revestimento cerâmico apresenta em comparação aos produtos sucedâneos no que diz respeito ao valor estético, respeito ao meio ambiente, *design*, durabilidade, manutenção, higiene, entre outros.

O Brasil ocupa a 4^a posição *no ranking* de produtores. O gráfico da Figura 3 a seguir apresenta os maiores produtores mundiais de revestimentos cerâmicos.

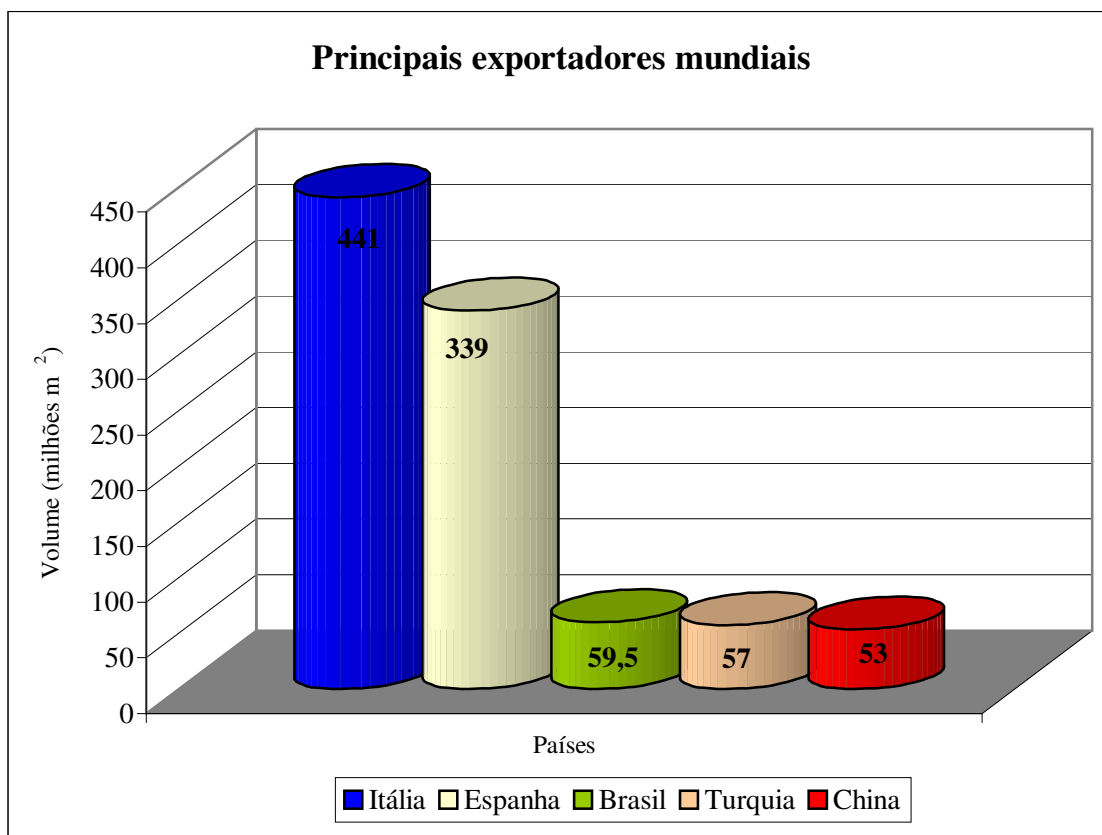
Figura 3 – Principais produtores mundiais de revestimentos cerâmicos em milhões de m²(ano de 2001)



Fonte: Anfacer (2005)

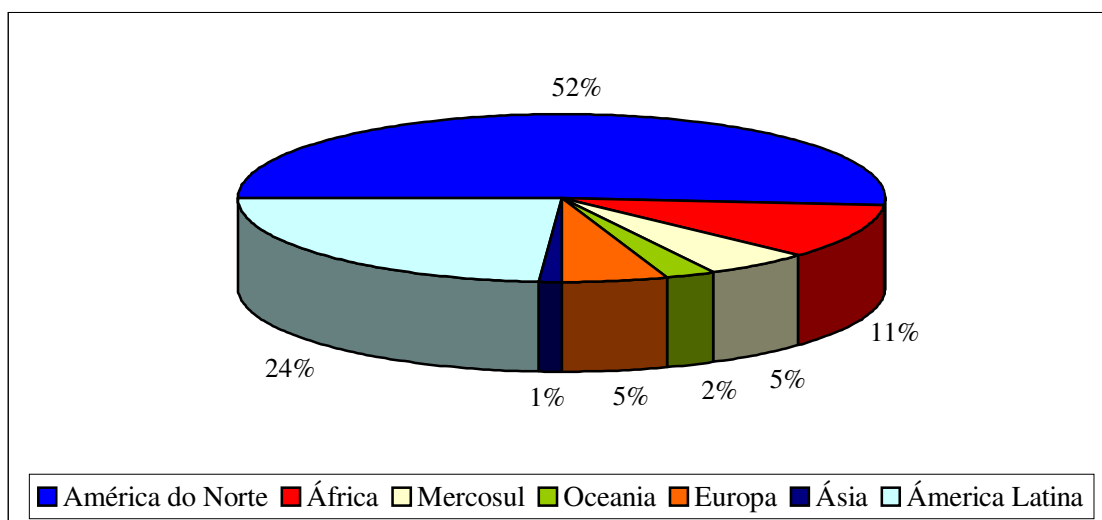
A seguir, nas Figuras 4 e 5 respectivamente são apresentados os maiores exportadores mundiais bem como a posição que o Brasil encontra-se. O maior volume exportado, no caso brasileiro, tem sido para o mercado Americano, seguido da América Latina e África. O faturamento com as exportações no ano de 2003 chegaram a US\$ 250 milhões.

Figura 4 – Maiores exportadores de revestimentos cerâmicos no mundo em milhões de m²(ano 2001)



Fonte: Anfacer (2005)

Figura 5 – Destino das exportações brasileiras de revestimentos cerâmicos (%)

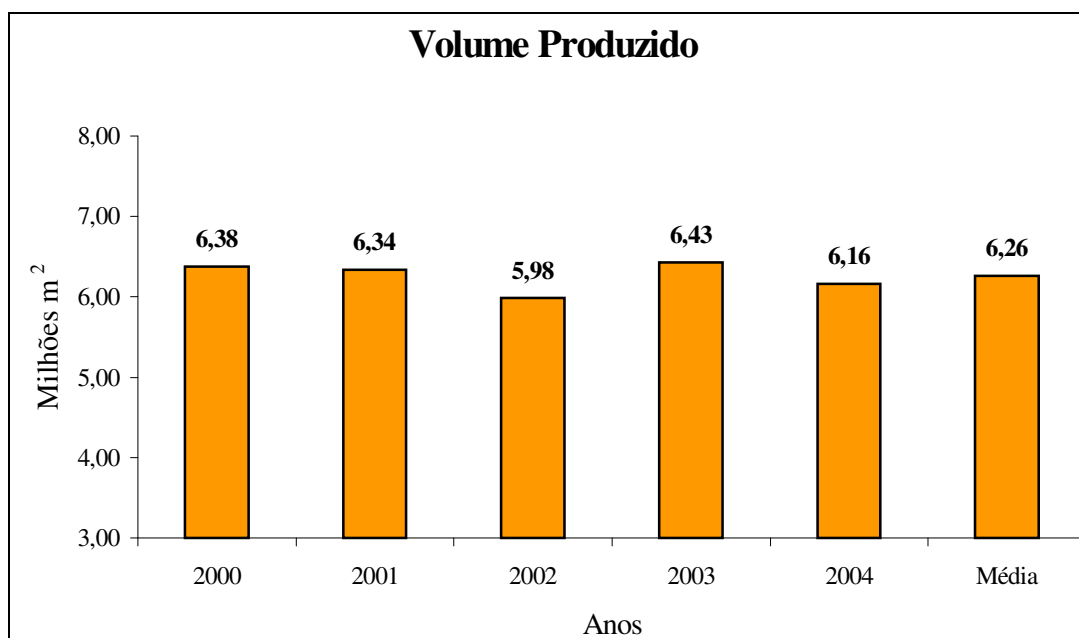


Fonte: Anfacer (2005)

1.2 As Indústrias Cerâmicas da Região Sul de Santa Catarina

Entre os maiores fabricantes de revestimentos cerâmicos do País, destacam-se as empresas localizadas no Sul de Santa Catarina. O gráfico da Figura 6 e os indicadores demonstrados a seguir comprovam o potencial da região em relação a este setor. Os dados são do Sindicato das Indústrias Cerâmicas de Criciúma e Região Sul SINDICERAM, (2005).

Figura 6 – Volume produzido (milhões m²) pelas indústrias cerâmicas do sul de Santa Catarina



Fonte: Sindiceram (2005)

Na média dos últimos cinco anos, alguns resultados demonstram a *performance* das indústrias da região: a) A capacidade de produção instalada foi de 84,3%; b) O faturamento bruto foi de R\$ 61.270.000,00/ano; c) O nível de emprego foi de 4473 funcionários/ano.

A região sul também responde por cerca de 30% de toda a produção nacional e 40% do volume total das exportações brasileiras. Números relevantes que comprovam, o nível de qualificação profissional e de tecnologia empregada nos processos produtivos. Convém lembrar que paralelamente a esta elevada produção existe a cogeração de resíduos sólidos, que necessitam de tratamento e adequada destinação final, fonte de análise deste trabalho.

1.3 O Contexto Ambiental das Empresas no Brasil

Para MARTINS e LUCA (1994), a questão ambiental está tão presente no ramo da administração de empresas que já estuda-se a Economia do Meio Ambiente e também fala-se em Balanço Ambiental de uma organização. Num futuro próximo, a legislação poderá exigir das empresas a publicação de balanços ambientais, em que serão detalhados os investimentos da organização na preservação ambiental.

Para ANTONIUS (1999), foi-se o tempo em que uma organização devia preocupar-se apenas com sua produção, com o preço e a qualidade de seus produtos. A empresa é vista hoje como um ente social. Sua existência e atividade interferem direta ou indiretamente na vida de muitas pessoas, a maioria das quais não consomem os produtos por ela fabricados. A empresa possui assim uma função clara na sociedade, que é a de se preocupar com o gerenciamento de todos os aspectos que a envolvem desde a cadeia produtiva, até as questões ambientais.

Nesse sentido, SOUZA (1993), comenta que novas estratégias de negócios estão sendo delineadas, visando o aperfeiçoamento e modernização tecnológica, imprimindo mudanças no processo de produção, criando, adaptando ou extinguindo técnicas e produtos. O objetivo é atender às exigências da legislação e dos importadores, melhorar a imagem da

empresa diante dos consumidores, aumentar suas oportunidades de negócios, e margens de lucro.

Assim, na visão de SOUZA (1993), as novas necessidades convocam as empresas a uma participação ativa na implementação de programas que a levarão ao desenvolvimento sustentável. As políticas da indústria e do comércio, incluindo as empresas multinacionais, têm papel fundamental na redução do impacto ao meio ambiente e no uso dos recursos naturais através de processos de produção eficientes, estratégias preventivas, minimização de desperdícios, tecnologias de produção limpas, reciclagem de resíduos e procedimentos adequados durante todo o ciclo de vida do produto. A tendência é atuar preventivamente, alterando o processo produtivo e usando tecnologias mais limpas.

A produção limpa propõe a implementação de tecnologias ambientalmente menos poluentes, visando uma ação preventiva mediante a redução significativa de emissões de efluentes, a utilização racional e eficiente dos insumos produtivos e a redução, reutilização e reciclagem de seus resíduos NUNES, (2002).

Para muitas empresas, porém, a busca pelo desenvolvimento sustentável pode ser visto como um investimento que gera alguns custos. Esses custos, na maioria das vezes, não são computados nos preços dos produtos. No entanto, SOUZA, (1993) refere que, “o desenvolvimento sustentável pode ser alcançado com o uso de instrumentos de mercado, no qual os preços de mercadorias e serviços devem refletir os custos ambientais de seus insumos, processo produtivo, uso e reciclagem dos produtos”.

Seguindo estas tendências, várias empresas vêm buscando avaliar o seu próprio desempenho ambiental. E para que esta análise seja eficaz, é necessário que esses procedimentos sejam conduzidos dentro de uma sistemática de gestão estruturada e integrada ao conjunto de suas atividades. Na busca para atender a estes requisitos e melhorar com isso a

sua *performance* ambiental as indústrias estão buscando a implantação da NBR ISO14001 COSTA, (2000).

O mercado com certeza acompanhará esta evolução e poderá assim, usar o seu poder de escolha com relação a esta ou aquela empresa.

Esta, portanto é à força do mercado, que pode modificar os moldes e as formas de pensamento e gerenciamento de uma empresa, conforme relatado no pensamento de DONAIRE, (1995).

1.4 O Contexto Ambiental da Área de Estudo

Dentro do contexto ambiental abordado acima, enquadram-se também as indústrias cerâmicas do sul catarinense, mais especificamente, Criciúma, cidade localizada numa região considerada pelo Decreto Federal 76.389 - 03/10/75, como a 14ª área crítica nacional em poluição, com sérios problemas ambientais devido principalmente a mineração do carvão. Aproximadamente 60% dos rios da região estão contaminados e boa parte do solo da região está degradada. Buscar portanto o gerenciamento ambiental da região, torna-se muito importante no sentido de minimizar os impactos ambientais existentes, e assim contribuir com a preservação ambiental. A área de estudo a qual se propõe o trabalho também é vizinha de uma área de proteção ambiental decretada pela Lei Municipal nº 2.459 08/06/90. A geração do resíduo sólido, objeto deste estudo, provém de uma indústria cerâmica de gres porcellanato e é resultado basicamente dos efluentes líquidos gerados no decorrer do processo. Estes efluentes passam por conseguinte, por uma estação de tratamento de efluentes (ETE) a fim de reutilizar a água no processo. Como subproduto, ocorre a geração de um resíduo sólido, tema de análise deste estudo, que até então vem sendo armazenado em um

aterro licenciado de propriedade da empresa. Anualmente são gerados cerca de 7.000 ton deste resíduo em base seca. No depósito em que o mesmo encontra-se temos aproximadamente 35.000 ton.

A composição química do resíduo é bastante similar a das matérias-primas utilizadas no processo. Porém, alguns elementos constituintes provém da etapa de polimento das peças, que utiliza-se de ferramentas abrasivas a base de óxidos de magnésio e cálcio, além do carbetto de silício. Sua classificação conforme norma da NBR ISO 10004 ABNT, (1987), o identifica como classe II, o que significa dizer o seguinte:

Resíduo classe II é aquele que engloba aquelas substâncias que podem apresentar solubilidade em água, combustibilidade e biodegradabilidade.

O ponto de partida para a idealização deste trabalho foi portanto, a realização de um diagnóstico técnico do resíduo sólido, resultante do tratamento de água desta empresa, a fim de reaproveitá-lo na fabricação de tijolos. A sua reinclusão na massa de gres porcellanato não foi tecnicamente viável devido à presença de materiais de origem calcária, que tornavam o material em sua temperatura de trabalho (1220 °C) altamente poroso, diminuindo desta maneira, a qualidade técnica do produto. A opção na composição da massa de tijolo deve-se ao alto grau de incorporação de compostos que estas massas apresentam, já que suas matérias-primas são argilosas, de natureza altamente heterogênea, e com um vasto espectro de composições. Além disso, esta incorporação implica em pelo menos duas vantagens de tipo ambiental: a reciclagem e inertização destes resíduos e a economia de matérias-primas argilosas, conforme COSIN (2002).

SANTOS (1989), também relata que “a solução mais eficiente para a reciclagem de rejeitos da indústria química, é a de reciclá-los em produtos para a construção civil, tais como tijolos e agregados leves”.

Assim, rejeitos sólidos podem ser incorporados as argilas para a fabricação de produtos cerâmicos, após a queima em fornos industriais em temperaturas adequadas.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Propor o reaproveitamento do resíduo sólido proveniente da estação de tratamento de efluentes líquidos da indústria cerâmica de gres porcellanato na fabricação de cerâmica estrutural

2.2 Objetivos Específicos

- Contribuir com a redução do consumo de matérias-primas por parte das indústrias cerâmicas estruturais, diminuindo o impacto ambiental na extração de argilas.
- Caracterizar o resíduo sólido com relação as suas propriedades físicas e químicas;
- Contribuir para a redução do impacto ambiental provocado pelo descarte deste resíduo sólido;
- Desenvolver formulações para artefatos cerâmicos estruturais incorporando tais resíduos;
- Avaliar o melhor percentual de resíduo a ser aplicado na formulação de massa cerâmica estrutural, com base nas propriedades físico-químicas atingidas.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste item será feita uma breve explanação sobre os produtos e processos de fabricação de cerâmica de revestimento e cerâmica estrutural, com base em normas de referência nacional. Será dada ênfase aos processos de produção de gres porcellanato e cerâmica estrutural por serem relativos ao tema em análise.

3.1 Processos de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos

Os materiais cerâmicos estruturam-se, em função do tipo de produto que deseja-se fabricar, e dos processos industriais utilizados. Devido a estes critérios, alguns produtos cerâmicos devem recobrir-se de um revestimento vítreo impermeável, como é o caso das cerâmicas que utilizam-se dos processos conhecidos por biqueima e monoqueima; ou simplesmente serem formadas por um corpo único e altamente densificado como é o caso do gres porcellanato. Portanto, a qualidade dos revestimentos cerâmicos está intimamente ligada a composição das matérias-primas e ao processo de fabricação utilizado BARBA, (1997).

As principais placas cerâmicas para revestimento, conforme nomenclatura da NBR ISO 13816 ABNT, (1997), podem ser classificadas como segue, segundo o processo de fabricação, formando os seguintes produtos:

a) Monoqueima grés

Entende-se por monoqueima um revestimento cerâmico prensado, destinado para uso em pisos. A temperatura atingida chega a casa dos 1180° C, sendo que o substrato e a

camada de esmalte são queimados em uma única etapa. Este processo permite produzir revestimentos cerâmicos com absorção d'água mais baixos e conseqüentemente com uma resistência mecânica mais elevada. Foram os pioneiros da tipologia de processo empregada na fabricação de gres porcellanato. Algumas de suas principais características técnicas são: i) boa aderência entre a massa e o esmalte devido a única queima; ii) alta resistência mecânica ($> 300 \text{ kgf/cm}^2$); iii) estabilidade dimensional; iv) baixa absorção d' água (de 0,5 % até 3 %).

b) Monoqueima semi-grés

Mesmo processo da monoqueima grés, permanecendo o produto em uma faixa superior de absorção d'água (de 3 % até 6 %). Como dito anteriormente, o que basicamente diferencia-se neste processo, são as matérias-primas usadas como componentes da massa cerâmica.

c) Monoqueima porosa (monoporosa)

É a denominação atribuída aos revestimentos cerâmicos prensados destinados para uso em parede (azulejos) e produzidos pelo processo de uma única queima.

É semelhante ao processo monoqueima grés. A diferenciação está na resistência mecânica ($> 150 \text{ kgf/cm}^2$) e na absorção d' água ($> 10\%$), além das matérias-primas e temperatura de queima que chega na casa dos $1080 \text{ }^\circ\text{C}$. Neste processo por exemplo, temos a utilização de um percentual muito mais elevado de carbonatos em relação ao processo de monoqueima. Isto para fornecer ao produto, as características técnicas que lhe são peculiares. Com isso tem-se a necessidade da utilização de um esmalte que entre em reação após a

decomposição dos carbonatos por volta de 950 ° C, afim de que não ocorram problemas de desgaseificação na superfície do esmalte.

d) Biqueima

Entende-se por biqueima um revestimento cerâmico prensado, produzido pelo processo de duas queimas. A primeira queima é a queima do substrato na faixa de 1000 ° C, e a segunda é a queima do vidrado na casa dos 900 ° C. Atualmente este processo é utilizado quase que exclusivamente para a produção de azulejos, ou seja, revestimentos cerâmicos destinados para parede. Antes do advento dos fornos a rolo, os pisos também eram produzidos por este processo, porém com as temperaturas mencionadas anteriormente. As características destes produtos são descritas a seguir: i) baixa espessura; ii) alta absorção d' água (13 a 16 %); iii) baixa resistência mecânica (>150 kgf/cm²).

e) Gres Porcellanato

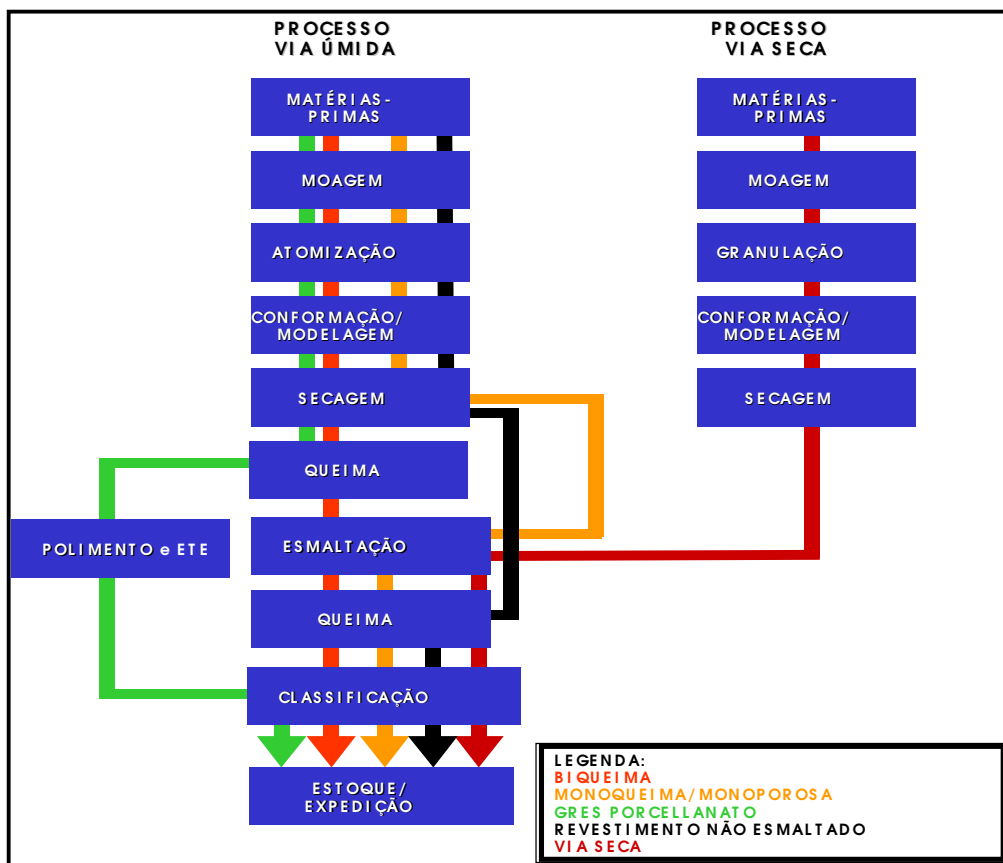
Os produtos denominados gres porcellanato são produtos prensados produzidos pela mistura de matérias-primas do tipo feldspáticas e argilosas. Com uma única queima e sem a utilização de esmalte ao substrato, atingem-se índices de absorção d'água muito baixos (geralmente inferior a 0,1 %). São destinados predominantemente para piso mas podem também ser utilizados na parede devido ao seu alto apelo estético. Basicamente são comercializados na versão natural e polida. Foram desenvolvidos inicialmente para competir com o mercado de pedras naturais e hoje abrangem os mais diversificados tipos de ambientes.

Atualmente alguns fabricantes estão apresentando versões esmaltadas de gres porcellanato buscando agregar cada vez mais a estes produtos, formas e efeitos decorativos diversos. Sem que com isto percam-se as suas principais características como é o caso da

absorção d' água e resistência mecânica. As principais características destes produto são: i) alta resistência mecânica (450 kgf/cm²); ii) baixíssima absorção d' água (< 0,5%); iii) alta durabilidade.

Na Figura 7 é apresentado, um fluxograma dos processos de fabricação de cerâmica de revestimento. Vale salientar que a fase de polimento existe somente no processo de produção de gres porcellanato e que a estação de tratamento de efluentes (ETE) pode estar aleatoriamente presente nos outros processos, desde que tenha-se predisposição empresarial para a implantação e/ou exigência por parte dos órgãos ambientais responsáveis e sociedade. Também aqui insere-se brevemente, o conceito de como pode funcionar o processo de biqueima e monoqueima, no que diz respeito a fase de cominuição da formulação. Basicamente o processo pode ser realizado pela moagem a seco ou a úmido, ou seja, com ou sem a utilização de água. A primeira traz vantagens ao processo no que diz respeito a economia de energia a ser utilizada, pois não necessita passar pela etapa de atomização (secagem e granulação da composição). Já a segunda traz maiores vantagens técnicas ao produto como maior resistência, baixa absorção e maior estabilidade dimensional. Isto porque a moagem a úmido propicia um maior grau de interação entre as partículas. A decisão da utilização entre um ou outro processo cabe a parte técnica, mercadológica e administrativa de uma instituição.

Figura 7 - Processos de produção de revestimentos cerâmicos



Fonte: Manual da Assistência Técnica – Eliane Revestimentos Cerâmicos (1999)

3.2 Processo de Fabricação de Cerâmica Estrutural

3.2.1 A Cerâmica estrutural

Segundo SANTOS (1989), cerâmica estrutural ou vermelha, são aqueles materiais a base de argilas, utilizados para a construção civil, tais como tijolos, telhas, ladrilhos de piso; objetos de adorno, elementos vazados; lajes cerâmicas, entre outros, produzidos pelos processos de produção manual, extrusão e prensagem. Sua temperatura de queima oscila na

faixa que vai de 950 ° C a 1250 ° C. Este parâmetro é decorrente da natureza de suas argilas, finalidade a qual o produto destina-se, forno utilizado e condições econômicas locais. Especificamente no texto que segue, será abordado o processo de fabricação de tijolos tipo bloco estrutural comum, no qual este trabalho está inserido

Conforme norma NBR 7171 ABNT, (1992), tijolos também são chamados de blocos cerâmicos para alvenaria, e podem ser classificados como segue, obedecendo as finalidades à qual destinam-se:

1) Blocos para vedação: São blocos que não têm a função de suportar outras cargas verticais além da do seu próprio peso e pequenas cargas de ocupação. Podem ser classificados em comuns e especiais.

a) Blocos para vedação comuns: São blocos de uso corrente em que sua resistência à compressão situa-se na classe 10 (1 Mpa) conforme Tabela 1. A resistência a compressão é definida pela NBR 6224 ABNT, (2001).

b) Blocos para vedação especiais: São blocos que podem ser fabricados em dimensões especiais mediante contrato por escrito entre produtor e consumidor. A norma que define as formas e dimensões que o produto deve obter como padrão é a NBR 8042 ABNT, (1992). Sua resistência a compressão deve ficar na classe 25 com 2,5 Mpa, conforme tabela 1

2) Blocos estruturais: São blocos projetados para suportarem outras cargas verticais além da do seu próprio peso compondo o arcabouço estrutural da edificação. Podem ser classificados e comuns e especiais.

a) Blocos estruturais comuns: São blocos de uso corrente, classificados conforme a sua resistência a compressão conforme tabela 1.

b) Blocos estruturais especiais: São blocos que podem ser fabricados em formatos e dimensões especiais mediante acordo entre as partes. São utilizados conforme sua resistência a compressão.

Tabela 1 – Classes de resistência à compressão (Mpa)

| Classe | Resistência à compressão na área bruta (Mpa) |
|---------------|-----------------------------------------------------|
| 10 | 1,0 |
| 15 | 1,5 |
| 25 | 2,5 |
| 45 | 4,5 |
| 60 | 6,0 |
| 70 | 7,0 |
| 100 | 10,0 |

Fonte: NBR 6224 ABNT, (2001)

Sendo:

Área bruta: É a área de qualquer uma das faces do bloco, delimitada pelas arestas do paralelepípedo.

Outra característica importante também definida pela NBR 7171 ABNT, (1992), é a absorção de água, que independente do tipo de bloco a ser utilizado, deve ficar na faixa que vai de 8 à 25%.

3.2.2 As Matérias-primas

As argilas são os principais componentes da formulação de massa, quando trata-se de produzir cerâmica estrutural. Conforme Santos (1989), são argilas plásticas caulinito-ilíticas, ou com camadas mistas de matéria orgânica, óxidos e hidróxidos de alumínio. Geralmente provém das margens de rios, lagos ou várzeas, e suas temperaturas de queima

variam entre 900° C e 1000° C. O mesmo autor as conceitua como uma rocha firmemente dividida, constituída essencialmente de argilominerais ou não, matéria orgânica e outras impurezas. Argilominerais são minerais constituintes característicos das argilas, geralmente cristalinos. Quimicamente são silicatos de alumínio hidratados, contendo certos tipos de elementos, como magnésio, ferro, cálcio, sódio, potássio, lítio, entre outros. São características das argilas:

- a) Serem constituídas essencialmente de argilominerais cristalinos.
- b) Possuir elevado teor de partículas de diâmetro equivalente a 2 μm .
- c) Quando pulverizada e umedecida torna-se plástica, após a secagem tem alta rigidez, e ao final da queima adquire alta dureza.
- d) Possuem capacidade de troca de cátions entre 3 e 150 meq/ 100 g de argila, provenientes dos ácidos orgânicos presentes em sua composição.

Dentre as suas várias características podem ser classificadas pela sua mineralogia, e dividem-se em:

- a) Argilas ilíticas: São argilas onde ocorrem substituições de cátions alcalinos (K) pelo alumínio, que lhes conferem a característica de baixo ponto de fusão. Este fato possibilita uma rápida formação de fase vítrea no material na etapa de queima.
- b) Argilas caulínicas: São argilas mais estáveis quanto a substituições de cátions. Estas são mais refratárias, e necessitam de temperaturas de queima mais elevadas para a completa sinterização. Devido a esta última característica, apresentam um intervalo de queima maior e conseqüentemente maior estabilidade dimensional.

c) Argilas montmoriloníticas: São argilas que dão lugar a maiores substituições catiônicas, sendo por este fato as mais reativas e plásticas. Apresentam também como característica partículas de baixa granulometria.

A Tabela 2 a seguir apresenta os principais argilominerais constituintes destas argilas, bem como sua composição química.

Tabela 2 - Principais argilominerais, e respectiva composição química

| Argilomineral | Composição química |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Caulinita | $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ |
| Ilita | $\text{K}_2\text{O} \cdot 2\text{H}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ |
| Montmorilonita | $\text{Al}_2\text{O}_3 [(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O}] \cdot 45\text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + n\text{H}_2\text{O}$ |

Fonte: ABC, (1994)

Entretanto em certas situações, podem ser utilizados às argilas base, corretivos para reduzir os problemas de produção e/ou incrementar a qualidade do produto acabado.

Podem ser citados aqui os desplastificantes que são normalmente materiais naturais tais como as areias ou materiais resultantes de outros processos produtivos.

Os desplastificantes são empregados em argilas excessivamente plásticas, e com acentuados problemas de trincas e fissuras nas etapas de secagem e queima. Os mais utilizados são: Areias silicosas, areias feldspáticas, areias lodosas ou lodo arenoso, basaltos e granitos moídos, o refugo da cerâmica vermelha (chamote) e as cinzas volantes.

São ainda utilizados materiais tais como a serragem, que além de contribuir com este efeito desplastificante, diminuem o consumo energético na etapa de queima, tornando o material mais leve, otimizando suas características isolantes, acústicas e térmicas.

3.2.3 A Dosagem

Nesta etapa as quantidades de matéria-prima a alimentar são reguladas pela velocidade de uma esteira (correia transportadora) e pela posição de uma comporta, à guilhotina. Os caixões dosadores desta maneira permitem obter uma maior constância na alimentação. Com isso a alimentação regular do material propicia uma utilização mais racional de todas as máquinas da seqüência produtiva, evitando paradas e otimizando a produção. Este equipamento trabalha com materiais fragmentáveis, plásticos e com umidade natural compreendida entre 15% e 30%, de modo a poderem ser tratados com ações de esmagamento, cisalhamento e extrusão.

3.2.4 A Desintegração

A máquina é constituída basicamente por dois cilindros que giram em sentido contrário. Cada cilindro é dotado de anéis dentados, de material resistente à abrasão, dispostos defasadamente de modo que durante a rotação uns insiram-se nos espaços vazios dos outros. A preparação que o destorroador efetua na matéria-prima deriva do conjunto de múltiplas ações: cisalhamento, esmagamento e estiramento.

3.2.5 A Mistura

Agregar elementos de diferentes características para formar uma única mistura, que represente um todo, é o objetivo da mistura. As máquinas normalmente empregadas

nestas etapas são o misturador granulador ou misturador filtro. O funcionamento do primeiro baseia-se na utilização de simples árvores dotadas de pás inclinadas, adequadas a promover o avanço da massa e a sua penetração. No segundo as árvores na zona final trazem hélices em lugar das pás. As hélices giram no interior de câmaras ao final das quais encontra-se uma grelha furada, através da qual a massa é extrudada em muitos pequenos cilindros. A grelha age também como filtro de impurezas. Existe a possibilidade de limpeza periódica da grelha, mediante o deslocamento lateral da mesma (por empurrador hidráulico). Outra importante ação do misturador filtro, é quando usam-se desplastificantes na fórmula, a pressão exercida pelo conjunto (pás, hélices e grelhas) possibilita uma boa interação entre as partes evitando segregações nas operações sucessivas.

3.2.6 A Laminação

Constituída basicamente por dois cilindros que giram a um número de rotações diferente e em sentido contrário. A parte periférica dos cilindros consiste num tubo de grande espessura chamado “camisa”, fixo à árvore por garras e tirantes. Uma das duas árvores é fixa, e a outra pode ser deslocada. Isto serve à regulação do espaço de passagem entre os dois cilindros, ou seja, para definir a “espessura de laminação” e para segurança em caso de introdução de impurezas muito duras. A ação do laminador é de esmagamento, impacto e estiramento.

3.2.7 A Extrusão

A conformação por extrusão é a técnica mais utilizada no campo das cerâmicas vermelhas. Pode ser obtida com massas possuindo um percentual de umidade, que pode variar entre 20 e 30% de água.

Durante a extrusão a argila é empurrada por meio de um sistema de parafusos helicoidais (rosca sem fim) através de uma matriz (a boquilha) que determina duas das três dimensões do produto. A terceira dimensão é determinada pelo corte do produto no comprimento pré- estabelecido.

3.2.8 O Corte

Define-se por corte o grupo de equipamentos, que promovem o cizalhamento, na medida desejada, do corpo na saída da máquina de extrusão.

São máquinas geralmente constituídas por: roleira ou esteira de transporte, cortadeira, sistema de recolhimento e transferência às máquinas de carga/descarga.

3.2.9 A Secagem

Após a moldagem, portanto, a cerâmica deve passar pelo processo de secagem a fim de obter-se o maior índice de evaporação possível da umidade. Esta etapa é importante para que a água no estado líquido presente no tijolo, não passe para o estado gasoso na etapa de queima em grandes volumes, o que pode ocasionar trincas, fissuras e até mesmo a

destruição da peça. Esta fase pode ser realizada com a utilização de processos e equipamentos que vão desde a ventilação ao ar livre em prateleiras que podem demorar dias; até a utilização de secadores rápidos que podem realizar com eficiência a secagem em até duas horas. Tecnicamente, o processo ocorre nas seguintes condições:

a) A evaporação da água superficial: O mecanismo e as velocidades são iguais àquelas que se verificariam na superfície de um líquido. A água evaporada da superfície é progressivamente substituída pela água interna que migra para o exterior e estabelece-se um fluxo contínuo que mantém úmida a superfície. Se a velocidade de evaporação superficial é maior que a velocidade de migração do interior para o exterior, a continuidade interrompe-se e enquanto a superfície está completamente seca, o interior permanece úmido: criam-se conseqüentemente contrações de volume diferenciadas que podem provocar fissuras e rupturas. Nesta primeira fase, a migração de água do interior à superfície permite uma compactação das partículas que entram em contato entre si. O volume da peça diminui proporcionalmente à água eliminada, e torna-se necessário um cuidadoso controle do processo para manter a retração o mais uniforme possível e igualmente distribuída em toda a massa. Nesta fase elimina-se entre 45% e 65% de água da composição.

b) As partículas chegaram à máxima compactação: A partir deste ponto é então eliminada somente a água de porosidade. Não mais ocorre a variação de volume, somente formação de poros. A água é eliminada com velocidades menores pela dificuldade que encontra para fluir através dos poros. Se faz então necessário o aumento da temperatura do ar a fim de que ocorra à evaporação.

3.2.10 A Queima

O material, extrudado e seco passa para a etapa de queima normalmente com um certo conteúdo de água residual. Esta será posteriormente retirada no forno. São usados normalmente na região sul de Santa Catarina, para esta etapa do processo os fornos contínuos e os fornos intermitentes de chama invertida. Suas formas básicas de funcionamento são descritas a seguir:

a) Fornos contínuos: O material é acondicionado sobre vagões que deslocam-se vagarosamente no interior do túnel, onde a temperatura decorre em elevação gradativa (pré-aquecimento) até atingir os valores da ordem de 900° C a 1000° C. É a zona de queima. Em seguida o material passa para a zona de resfriamento, onde paulatinamente a sua temperatura diminui. O processo ao todo pode durar até um dia. O forno pode utilizar-se de combustíveis a base de óleo ou gás.

b) Fornos intermitentes de chama invertida (Fornos garrafão): Esses fornos são típicos de pequenas e médias olarias onde opera-se com lenha ou carvão vegetal. O processo começa com o abastecimento de material no forno. Após esta etapa as portas do forno são fechadas com tijolos assentados com barro e ateia-se fogo ao combustível depositado nas fornalhas localizadas ao redor do forno. Existem também neste forno a etapa de pré-aquecimento, queima e resfriamento, sendo que na etapa de resfriamento abrem-se as portas laterais do forno e uma “tampa” superior, a fim de facilitar a troca de calor.

Sendo as argilas os principais componentes da formulação da massa, são descritas resumidamente a seguir algumas das principais reações químicas de transformação dos argilominerais, que conforme SANTOS, (1989), podem ser divididas em reações de baixa e alta temperatura, com uma separação arbitrária a cerca de aproximadamente 1000 ° C. Acima

de 1000 ° C as fases desenvolvidas são aquelas previstas pelos diagramas de equilíbrio de fases desenvolvidas pelos óxidos presentes no substrato.

1) A partir de 100° C até 250° C tem-se a liberação de água adsorvida; dependendo do argilomineral constituinte e de sua granulometria.

2) Entre 250° C e 900° C: Ocorre a perda de hidroxilas, formando um mineral sem estrutura cristalina, denominado metacaulinita, através de uma reação endotérmica. Processa-se também a decomposição de sulfetos, matéria orgânica, e a conversão do quartzo alfa para beta a temperatura de 573° C com um aumento de volume no aquecimento na faixa de 1%, e uma redução no resfriamento na mesma ordem.

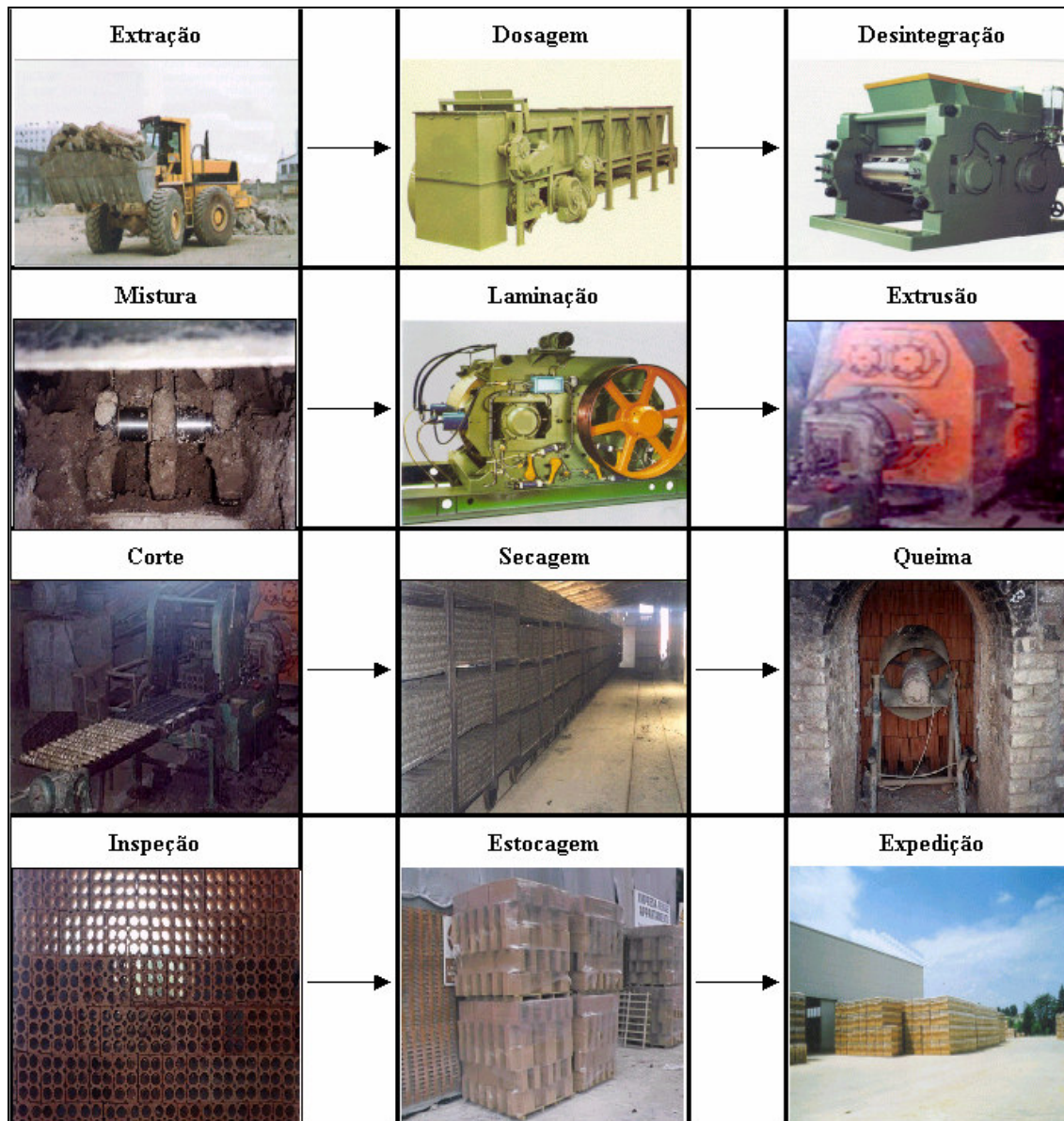
3) Entre 900° C e 1000° C: Ocorre a decomposição dos carbonatos, além da decomposição da caulinita, através de uma reação exotérmica, com a formação de um espinélio que é a fase precursora da mulita.

3.2.11 A Inspeção, estocagem e expedição

Estas são as três últimas fases do processo. A inspeção trata-se da verificação da qualidade atingida pelo produto para que o cliente possa receber um produto dentro das especificações. A estocagem e a expedição são atividades sucedâneas que complementam o processo a fim de fornecer ao mercado o produto solicitado.

O fluxograma da Figura 8, como complemento a explanação realizada, apresenta as fases do processo de fabricação de cerâmica estrutural de forma resumida.

Figura 8 - Processo de produção de cerâmica estrutural.



Fonte: dados do autor

3.3 O Processo de Fabricação de Gres Porcellanato

3.3.1 O Gres porcellanato

O gres porcellanato é um produto de concepção italiana, do final dos anos 80 que usa um conceito completamente diferente da cerâmica tradicional. Até aquele momento somente utilizavam-se revestimentos para pisos que tivessem uma camada vítrea protegendo e impermeabilizando uma determinada base; sem que se houvesse um apelo estético muito elevado.

O produto, portanto surgiu naquela época, com a concepção de criar-se um revestimento impermeável e resistente por toda a extensão de seu corpo e não somente na superfície, reduzindo assim sensivelmente sua absorção d'água e desgaste. Isto aliado a um alto nível estético, sendo este orientado pelas formas e cores das pedras naturais. Desde então, a tecnologia evoluiu permitindo novos *designs* e tipos de decoração além de uma gama enorme de cores e imagens BIFF, (1997)

3.3.2 Extração de matérias-primas

As matérias-primas para a produção do gres porcellanato são naturais, e de dois tipos: plásticas e não plásticas. Sua procedência natural exige, na maioria dos casos, uma homogeneização prévia e ou beneficiamento, a fim de agregar ao produto as características técnicas desejáveis. No caso de materiais não plásticos isto pode significar uma pré-moagem ou desferrização VAN VLACK, (1973). Entende-se por plasticidade em materiais cerâmicos a propriedade de um material úmido deformar-se sem romper, pela aplicação de uma tensão de cisalhamento, permanecendo a deformação quando a tensão aplicada é retirada. Alguns exemplos de matérias-primas plásticas são as argilas. Enquanto o quartzito, e o feldspato são exemplos de matérias-primas não-plásticas.

3.3.3 Matérias-primas plásticas

Habitualmente na fabricação de gres porcellanato como matérias primas plásticas são utilizadas as seguintes tipologias:

a) Argilas: São geralmente cauliníticas, montmoriloníticas (bentonitas) e em alguns casos ílíticas dependendo da disponibilidade em que encontram-se. As primeiras são mais abundantes no território brasileiro, já que a caulinita também é um dos argilominerais dos mais comuns. Fornecem uma tonalidade de queima mais clara ao produto, porém podem diminuir a plasticidade da massa, afetando assim a sua densificação e resistência mecânica a seco. Sua sinterização ocorre ao redor de 1250° C por ser basicamente um silicato de alumínio hidratado sem praticamente substituições catiônicas às suas estruturas cristalinas. O que pode decorrer deste fato são acréscimos na absorção d'água do produto caso o mesmo não tenha um bom balanceamento da fórmula. Já a segunda é incluída na formulação em pequenas quantidades para que a mesma adquira maior plasticidade e densificação. Estes percentuais justificam-se pelo fato destas argilas apresentarem dificuldades quanto a defloculação, além de certo percentual de óxido de ferro, o que dificulta o alcance de cores mais claras. As argilas ílíticas, por apresentarem inserções de potássio a sua fórmula, também são interessantes para a fabricação de porcellanato, pois fornecem margem a diminuição da absorção d'água e temperatura de queima. Porém precisam também ter cores de queima claras, a fim de fornecer ao produto esta característica. A ocorrência deste tipo de argilas em território brasileiro apresenta em sua grande maioria, inserções de óxido de ferro, o que dificulta portanto sua utilização.

b) Caulim: Conforme SANTOS, (1989), caulins são argilas constituídas principalmente pelos argilominerais caulinita e ou haloisita. Após a queima a 1250 ° C atingem cores brancas e claras. Quando inserido na formulação fornecem ao produto maior

estabilidade de queima, e clareamento da massa. Geralmente diminuem sua plasticidade, e a resistência mecânica do material à seco.

c) Filitos: É uma rocha metamórfica estratificada ou laminada, composta de uma mistura de caulinita, mica muscovita finamente dividida ou sericita e quartzo em proporções variáveis SANTOS, (1989). Os filitos apresentam geralmente cores claras no estado natural e percentuais de potássio e sódio que podem chegar a casa dos 3 a 5%. Este fato faz com que possam ser adicionados a formulação em substituição aos percentuais de feldspatos; com a vantagem de agregar certa plasticidade a composição. Podem ter cores de queima que vão do cinza claro ao creme.

3.3.4 Matérias-primas não-plásticas

As matérias-primas não-plásticas comumente empregadas na preparação de porcellanatos são: feldspato, sílica e talco. Carbonatos não são bem aceitos eventualmente na temperatura de queima deste produto, geralmente a 1200° C, pois agregam porosidade excessiva ao substrato, podendo prejudicar as características finais do produto como a resistência à manchas.

a) Feldspato: Os feldspatos normalmente usados são os sódicos, e os potássicos, sendo que existem também os carbonáticos, porém sua utilização não é muito difundida devido a sua elevada refratariedade. Podem ter também inserções de outros óxidos, como o lítio. Em função do maior ou menor teor de sílica e álcalis, o ponto de fusão pode variar na faixa de temperatura que vai de 1100°C a 1400° C ABC, (1994). O feldspato desempenha o papel de fundente na temperatura de fabricação de gres porcellanato, promovendo à

ocorrência das primeiras fases líquidas durante a queima. É um dos principais responsáveis pela alta resistência mecânica à queimado do produto além da baixa absorção.

b) A Sílica: é um dos minerais mais abundantes da crosta terrestre, sendo encontrado, portanto em proporções das mais variadas nas argilas ou em seu estado natural. No seu estado natural comercialmente é chamado de quartzo, que também é a primeira fase cristalina da sílica. Uma das funções do quartzo na formulação de porcellanato é a de aumentar a estabilidade térmica do produto na etapa de queima. Contudo, ao adicionar-se sílica a massa, deve-se considerar o fenômeno de transformação que acontece com a mesma no seu aquecimento na temperatura de 573 ° C quando passa do estado cristalino alfa para beta, com um sensível aumento de volume. No resfriamento ocorre a mesma transformação, porém com a diminuição de volume. Portanto os ciclos de queima devem ser adequados ao tipo de massa utilizada, para que não ocorram trincas e quebras com o produto. Suas formas cristalinas são descritas a seguir: quartzo, tridimita e cristobalita. As três possuem a mesma fórmula química, SiO_2 , porém diferem na maneira como ordenam-se os átomos de silício e oxigênio na estrutura de SiO_2 . O quartzo é a forma estável termodinamicamente até os 870 °C. Entre 870 e 1470 °C é estável a tridimita. Da mesma forma, a cristobalita experimenta esse intervalo entre 1470 °C e 1722° C. Acima desta temperatura, a sílica fundese e torna-se um vidro ABC, (1994)

c) O Talco: É um silicato de magnésio de estrutura laminar, que pode apresentar-se associado a impurezas, tais como Fe_2O_3 , CaO e óxidos alcalinos. Pode ser empregado em algumas ocasiões para aumentar a fundência da composição de gres porcellanato, porém como efeito reduz a faixa de estabilidade térmica do produto, aumentando a possibilidade de uma maior variação de tonalidades.

3.3.5 Moagem

A moagem possui a função de reduzir as dimensões do material de modo a desenvolver superfícies específicas adequadas aos processos de secagem e queima, além da mistura e homogeneização dos vários componentes da massa. Nesta etapa, na empresa em análise, as matérias-primas são primeiramente pesadas e moídas no processo de via-úmida empregando-se os moinhos de bolas até a obtenção de partículas de tamanho desejado.

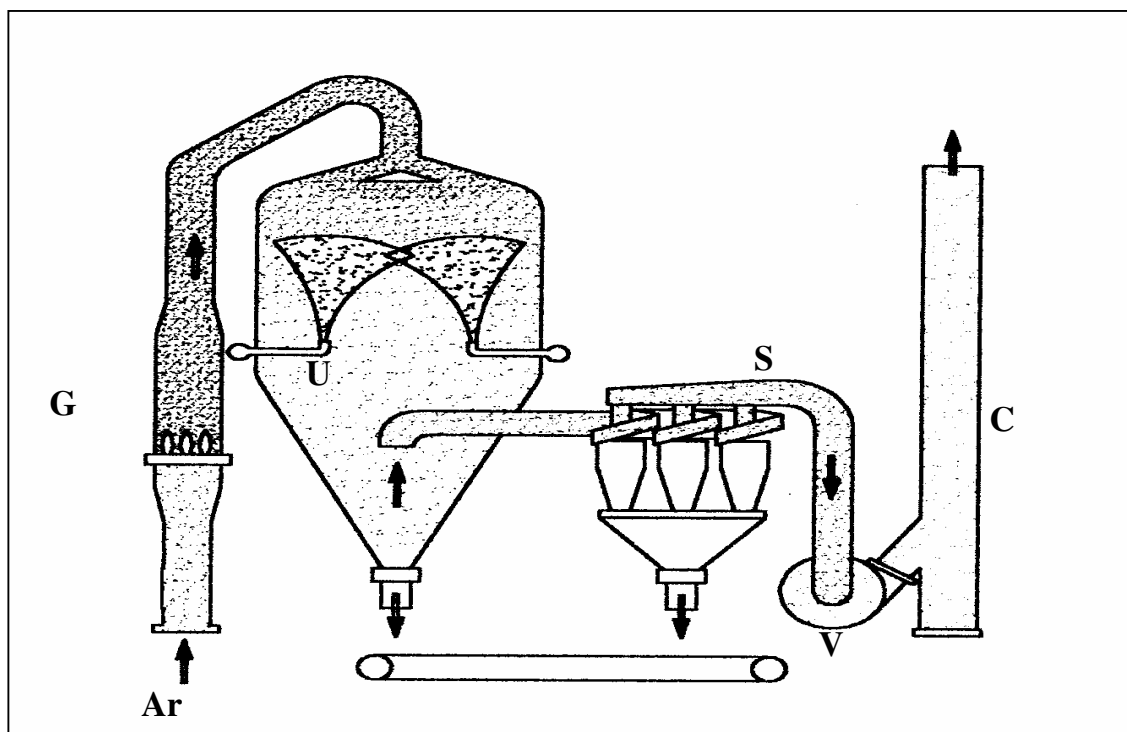
O gres porcellanato exige uma moagem muito mais severa do que as demais tipologias cerâmicas industriais, para garantir a estabilidade, grau de sinterização e homogeneidade característicos deste produto. Na fábrica existem quatro tipologias de massas, a saber: A chamada massa base, massa *bianco plus*, massa super *bianco*, e uma hiper *bianco*. Além destas, também é nesse setor que realiza-se a adição de corantes para coloração das mesmas e obtenção dos modelos pré-concebidos. Ao todo são mais de 20 massas coloridas. Para que não ocorram contaminações provenientes da mistura entre composições faz-se necessário a lavagem dos moinhos e do próprio setor em questão. Este processo gera cerca de 20% de todo o efluente da fábrica. Posteriormente o mesmo é processado na estação de tratamento de efluentes. A água tratada retorna ao processo deixando o resíduo antes nela contido como subproduto.

3.3.6 Atomização e armazenamento

A suspensão formada com as matérias-primas e água, denominada “barbotina”, passam agora por um processo de redução da quantidade de água chamado atomização. Nesta etapa se forma um pó com granulometria, forma e umidade controladas para garantir uma

perfeita conformação das peças. O atomizador, equipamento utilizado nesta etapa (Figura 9), é constituído por um grande cone invertido, em cuja parte superior é montado um cilindro fechado na outra extremidade. Pela parte superior entra ar quente proveniente de gerador apropriado (G). Em seu interior está disposta uma coroa circular de bicos (U) que nebulizam a barbotina, que tem em torno de 35% de umidade sob pressão, reduzindo-a a gotas minúsculas e lançando-as em direção ao alto onde encontram um fluxo de ar quente em contracorrente. As gotículas, em contato com o ar quente, desidratam-se e as partículas finamente moídas contidas nestas aglomeram-se de modo a formar um grão. Na parte inferior (no vértice do cone) recolhe-se o pó com umidade em torno de 5 a 6%. O ar de exaustão é extraído próximo da parte inferior e contém uma certa quantidade de grãos mais finos, os quais são então separados por meio de uma bateria (S) de equipamentos chamados ciclones. O ar de exaustão carregado de vapores de água é então enviado à chaminé (C) por meio de um ventilador (V) para ser disperso na atmosfera. A estocagem dos pós é normalmente feita em silos metálicos. São constituídos por um corpo cilíndrico, terminado por um cone na parte inferior. Suas principais funções são de armazenar a massa para posterior compactação e homogeneizar a umidade do estoque formado.

Figura 9 – Desenho esquemático representando a estrutura do atomizador



3.3.7 Prensagem e secagem

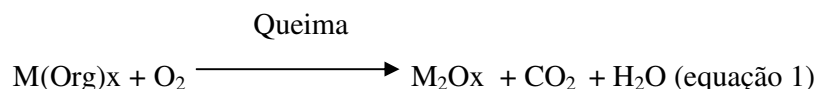
A prensagem “à seco” é um importante método de conformação de produtos cerâmicos VAN VLACK, (1973). As partículas das matérias-primas são comprimidas até um volume tão pequeno quanto possível, através da aplicação de pressão, obtendo-se o empacotamento e à agregação das partículas. O fator de empacotamento varia com a forma, arranjo e distribuição dos tamanhos das partículas. A moldagem por prensagem de pó cerâmico granulado por atomização é realizada com umidade em torno de 5 a 6% de umidade BLASCO et al, (1990). O processo acontece com a utilização de uma prensa hidráulica que com uma quantidade predeterminada de massa inserida em uma de suas cavidades internas (estampo inferior) imprime uma pressão através da ação da parte móvel (estampo superior). A massa por efeito de suas características assume a forma da cavidade. Depois de cessada a ação peça produzida é extraída. A conformação das peças de gres porcellanato acontece com uma

pressão em torno de 450kgf/cm^2 . Este processo garante uma estabilidade dimensional ao material, em parte devido a utilização de estampos isostáticos que distribuem uniformemente a força exercida sobre a peça. Como a peça ainda está úmida, é necessário que a mesma seja encaminhada para o processo de secagem para retirar o percentual de umidade excedente, com o intuito de aumentar a resistência a seco do material, e evitar possíveis defeitos de fabricação na etapa de queima. Com ciclos em torno de 60 a 90 minutos e temperaturas que oscilam entre 110°C e 150°C , dependendo do equipamento, essa etapa elimina quase que completamente a água contida nas peças após a operação de prensagem, restando somente uma pequena quantidade residual que será retirada na etapa de queima.

3.3.8 Linha de decoração

No caso do gres porcellanato a linha de decoração pode funcionar basicamente como uma etapa de transferência de material até o forno, ou adotar técnicas de decoração do tipo sais solúveis a fim de atingir-se efeitos decorativos diversos.

Sais solúveis são elementos contendo metais do tipo Fe, Cr, Ru, Co, Ni, V e Au (M) e bases orgânicas (Org) dissolvidos em meio aquoso. Apresentam a seguinte equação 1 geral:



Para que possa ser aplicado na superfície da peça através de uma serigrafia, é formada uma pasta com a adição de um ligante molecular que dissolve-se na solução base, aumentando a viscosidade da composição. Por sua natureza solúvel possuem grande facilidade de penetração no substrato. Isto acontece devido a pulverização de água na superfície da peça. Posteriormente o produto é queimado desenvolvendo através dos óxidos

cromóforos componentes desta tinta o tom desejado. No decorrer do processo o material será polido agregando ao mesmo o brilho e acentuando a sua decoração. FERRO ENAMEL ESPANHOLA (Informativo Colour Division - Castellon 1996)

3.3.9 Queima

A queima dos materiais cerâmicos é considerada a etapa mais importante de todo o processo de fabricação, pois é nesta que manifestam-se todas as operações realizadas durante a fabricação, aparecendo freqüentemente defeitos nas peças acabadas ocasionados em etapas anteriores.

A queima dos materiais cerâmicos não implica simplesmente em levá-los à uma determinada temperatura, sendo de grande importância as velocidades de aquecimento, de resfriamento e também o tempo de permanência na temperatura máxima. Durante a queima tem-se lugar a uma série de reações que conduzem a uma redução de porosidade e das dimensões da peças conferindo um significativo incremento de dureza ao material. Estas reduções deverão ocorrer de forma gradual e controlada, pois do contrário podem provocar defeitos permanentes no produto acabado.

A finalidade dessa etapa é, portanto, aglomerar as partículas formando uma massa coesa pela sinterização VAN VLACK, (1973). Sinterização é o tratamento térmico de um pó ou de um compactado poroso, de forma a aproximar suas características de um corpo livre de porosidade. Sua força motriz é a diminuição da energia superficial total, devido ao contato e crescimento entre os grãos. Os átomos dos grãos pequenos são transferidos para os maiores, e os poros são substituídos por materiais sólidos.

No caso do gres porcellanato vale salientar-se que uma das principais reações de sinterização que auxiliam na obtenção de sua elevada resistência mecânica e baixa absorção

de água é a formação de mulita primária e secundária. Sua formação acontece através da presença do espinélio Si-Al e dos aluminossilicatos amorfos liberados a partir de 970°C da caulinita.

O espinélio transforma-se rapidamente em mulita primária entre 1150 e 1250°C, e secundariamente a mulita nucleia e cresce vagarosamente da fase aluminossilicato amorfos. As duas mulitas produzidas através destes dois mecanismos são diferentes. A mulita desenvolvida do espinélio Si-Al, chamada mulita primária, forma blocos grandes e cristais lamelares, e é de um benefício pequeno para os corpos porcelânicos resistentes. A mulita cristalizada da fase aluminossilicatos amorfos, porém, é chamada mulita secundária. Estes cristais, que são em forma de agulhas, ajudam a reforçar o sistema.

Os precursores da mulita primária desenvolvida pelo espinélio Si-Al são principalmente os minérios das argilas, por outro lado, os cristais de mulita secundária aciculares são somente formados pela cristalização de uma fusão. O aluminossilicato amorfo, formado pelas reações entre o feldspato e os minérios de argila fornecem o líquido necessário.

Após estas transformações e posterior resfriamento o produto adquire as características técnicas desejáveis, e passa para a outra etapa do processo que é o polimento.

3.3.10 Polimento

Na parte final do processo, uma grande parte da produção é direcionada para um processo de polimento, onde um equipamento de última geração confere ao produto brilho e beleza. Abaixo são descritos seus componentes.

3.3.10.1 Máquina calibradora

A primeira fase do processo, resume-se na retirada de material da superfície da peça a fim de extrair imperfeições que a mesma venha a apresentar. Estas imperfeições que podem ser desde a curvatura, riscos superficiais ou pequenas deformações, são retiradas através de uma máquina calibradora composta por rolos adiamantados.

3.3.10.2 Cabeçotes de polimento

Nesta fase do processo, acontece a eliminação das ranhuras deixadas pelos rolos abrasivos. O polimento realiza-se com a utilização de vários cabeçotes contendo abrasivos à base de resinas e materiais abrasivos em várias granulometrias, a fim de atingir-se no final do mesmo, o brilho característico do produto. Após o polimento as peças são encaminhadas para a fase de esquadramento e chanframento, deixando-a com um tamanho modular constante.

A próxima fase é a secagem das peças, que ocorre através de um secador de resistências instalado na linha de polimento. Depois de secas, as peças passam por uma aplicação de impermeabilizante em sua superfície, depositado através de um bico pulverizador e de uma moto-escova. Após estes procedimentos, as peças são classificadas e encaixotadas.

Todo este processo necessita de grande quantidade de água para funcionar, devido ao grande atrito que existe entre a máquina e o produto; o que acaba gerando uma grande quantidade de efluentes líquidos a serem tratados. Nesta etapa acontece a geração da outra parte dos efluentes (cerca de 80%). Cerca de 95% de todo este efluente é tratado e reaproveitado no processo, através da estação de tratamento de efluentes (ETE). Os restantes

5% são relativos as perdas existentes no processo. O material resultante do tratamento do efluente é o resíduo.

3.3.11 Estação de tratamento de efluentes (ETE)

No decorrer do processo produtivo, diversas atividades geram resíduos, emissões atmosféricas e efluentes que devem receber tratamento adequado antes do descarte para o meio ambiente.

Os efluentes, no caso da indústria em análise, são produzidos basicamente em dois setores: preparação de massa e polimento. A geração desses resíduos no primeiro caso deve-se à limpeza de equipamentos e lavações do setor. No segundo caso devido ao desgaste das ferramentas abrasivas e do próprio material queimado.

Existem várias formas de tratamento de efluentes, porém em indústrias cerâmicas, comumente utilizam-se duas formas:

a) Instalação de duas ETEs independentes; uma destinada ao tratamento dos efluentes gerados no setor de preparação de massa e outra destinada ao tratamento dos efluentes de polimento;

b) Instalação de uma única ETE que tratará simultaneamente resíduos de polimento e massa;

O desenvolvimento deste trabalho foi feito em uma indústria que utiliza a segunda opção de tratamento. Assim, os efluentes de massa e polimento são coletados em canais setoriais ligados a um canal central que tem a finalidade de transportar a mistura de efluentes

para o devido tratamento e reaproveitamento no processo. Abaixo são descritas as principais fases do processo:

Tanque de Recepção: Tanque aonde o efluente vindo do processo é recebido. O efluente após isso é bombeado para os silos de armazenamento e floculação.

Silos de Armazenamento e floculação: Silos onde a água é armazenada e os produtos químicos são utilizados para a decantação dos sólidos, e conseqüente separação da água tratada.

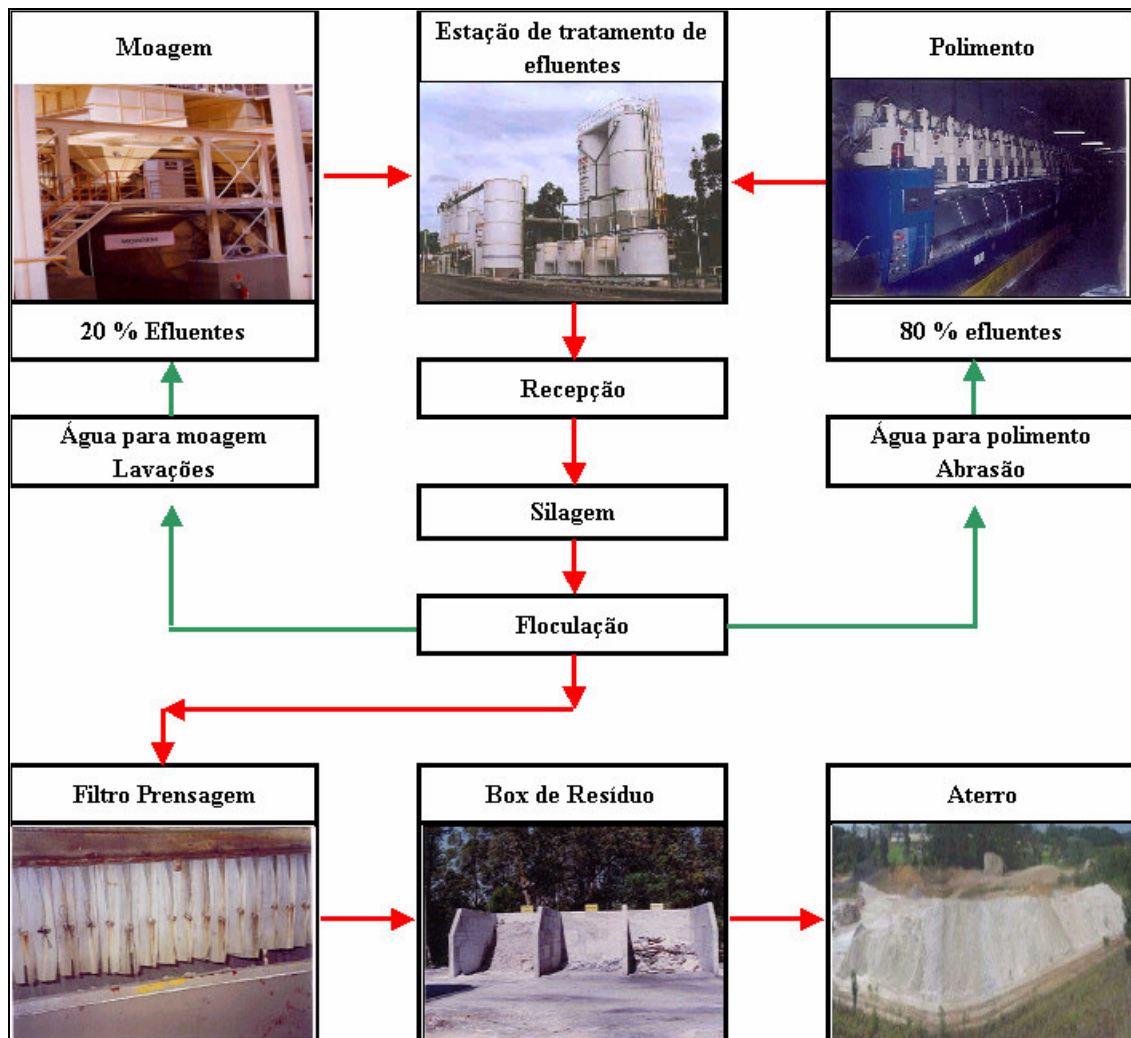
Filtro-prensa: Equipamento utilizado para a filtração do lodo proveniente da decantação da água. O mesmo é constituído de uma série de pratos paralelos, cobertos por um meio filtrante. As câmaras, onde ficam depositadas as tortas, são formadas entre as placas sucessivas.

Tanque de água tratada: Tanque para onde a água tratada na estação de tratamento é bombeada. Este tanque armazena a água até que a mesma possa ser utilizada no processo produtivo novamente.

O resíduo que sai do processo de tratamento com uma umidade em torno de 25 %, é depositado num *box*, conforme fluxograma da Figura 10.

Após o preenchimento do *box*, o resíduo é levado a um aterro da empresa na localidade de linha Cabral (Município de Cocal do Sul – Santa Catarina / Brasil). Neste aterro os resíduos são misturados constantemente por uma pá carregadeira. Anualmente, geram-se cerca de 7.000 toneladas destes resíduos em base seca. No aterro tem-se por estimativas que estão armazenados cerca de 35.000 toneladas de resíduo em base seca.

Figura 10: Fluxograma da estação de tratamento de efluentes.

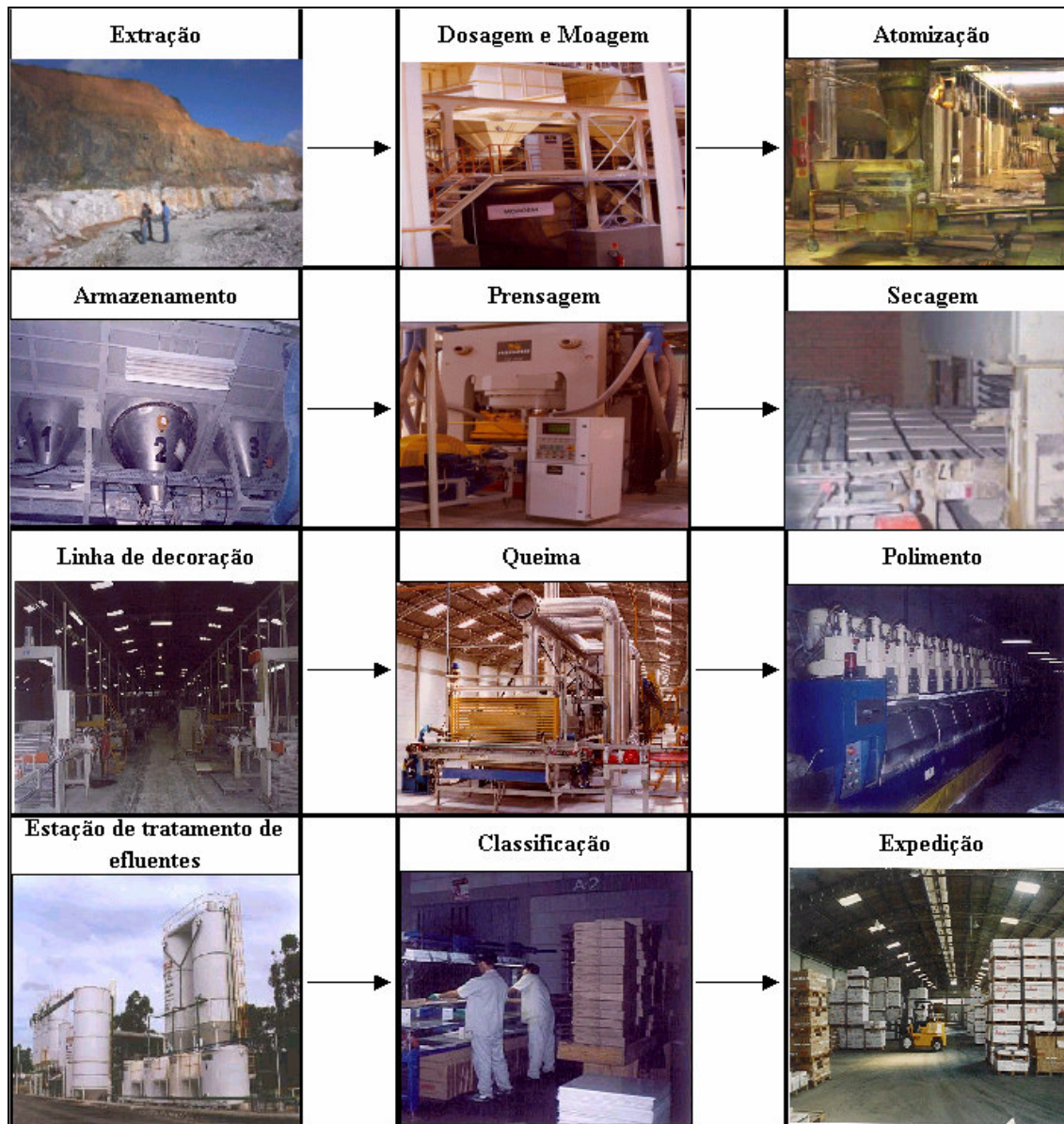


Fonte: dados do autor

3.3.12 Classificação

Defeitos de fabricação surgidos no decorrer do processo ou diferenças de tonalidade são separadas na classificação. A classificação é feita, seguindo os critérios da ISO 13006. O produto é separado geralmente nas classes A e C conforme a intensidade de seus defeitos. Após a classificação o material é embalado e encaminhado para a expedição. Na Figura 11 a seguir tem-se todo o processo apresentado de maneira gráfica.

Figura 11: Fluxograma do processo produtivo



Fonte: dados do autor

3.4 Resíduos Industriais e Reciclagem

3.4.1 Leis ambientais e normas de certificação

O gerenciamento dos resíduos sólidos industriais é hoje um dos principais problemas vivenciados pelas empresas na área de meio ambiente. Com a aprovação da Lei de Crimes Ambientais, no início de 1998, a qual estabelece pesadas sanções para os responsáveis pela disposição inadequada de resíduos, as empresas que prestam serviços na área de resíduos sentiram um certo aquecimento do mercado. Mas tal movimento foi de certa forma arrefecido com a emissão da Medida Provisória que ampliou o prazo para que as empresas se adequem à nova legislação ALVES, (1998). A esperança destas empresas que investiram em tecnologia e instalações para tratamento e disposição de resíduos industriais está na disseminação da normas ambientais ISO 14001, pois as empresas que aderirem à norma terão que gerenciar adequadamente seus resíduos.

Em um levantamento prático e preliminar efetuado dentro da própria empresa em estudo, a qual obteve a certificação NBR ISO 14001 em 1997, observa-se um total de 96 requisitos legais aplicáveis, para a implantação da norma. Estes inseridos em esfera federal, estadual e municipal e dispostos em: constituição, leis, códigos, instruções normativas, portarias, decretos, resoluções e medidas provisórias. Dentre todos os requisitos podemos citar:

- A constituição da República Federativa do Brasil capítulo IV. (BRASIL 1988);
- A lei federal nº 9.065 de crimes ambientais, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. (BRASIL, 1998);
- A lei federal nº 6.938 que dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. (BRASIL, 1981);
- Decreto lei federal nº 1.413 que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais. (BRASIL, 1975);

- A portaria interministerial MMA nº 03 que institui o programa de qualidade ambiental e incentiva as empresas a adotarem a NBR ISO 14001.

- A portaria minter 53 que dispõe sobre o destino e tratamento de resíduos. (BRASIL, 1979);

- A lei estadual nº 5.793 que dispõe sobre a proteção e melhoria da qualidade ambiental. (SANTA CATARINA, 1980);

- A lei estadual nº 11.347 que dispõe sobre a coleta, o recolhimento e o destino final de resíduos sólidos potencialmente perigosos que menciona, e adota outras providências. (SANTA CATARINA, 2000).

Além destes instrumentos as autoridades já vêm buscando esforçar-se por promover esta difusão de idéias pela preservação ambiental. Um exemplo foi a elaboração da Agenda 21 com alguns princípios a serem seguidos, dentre eles a adequação dos resíduos sólidos ao meio ambiente.

Em relação ao tema disposto coloca-se que o tratamento de resíduos deve ir além do simples depósito ou aproveitamento por métodos seguros. Deve-se também buscar resolver a causa fundamental do problema, procurando mudar os padrões não sustentáveis de produção e consumo. Isso implica a utilização do conceito de manejo integrado do ciclo vital, o qual apresenta oportunidade única de conciliar o desenvolvimento com a proteção do meio ambiente.

Segundo o documento, também devem ser quatro os principais focos de atenção para os países chegarem a uma estrutura ampla de manejo de resíduos:

- a) Redução ao mínimo dos resíduos;
- b) Aumento ao máximo da reutilização e reciclagem ambientalmente saudáveis dos resíduos;
- c) Promoção do depósito e tratamento ambientalmente saudáveis dos resíduos;

d) Ampliação do alcance dos serviços que se ocupam-se dos resíduos.

Portanto cabe a todas as partes envolvidas no processo a execução destes instrumentos legais, e difusão destas idéias a fim de que sejam aprimorados os princípios do desenvolvimento sustentável e da consciência ambiental da sociedade.

3.4.2 A Reciclagem de resíduos sólidos na cerâmica

Apresenta-se a seguir, alguns estudos já efetuados, visando à utilização de resíduos industriais oriundos de diversos processos de fabricação em massas cerâmicas.

SÁNCHEZ et al. (2004) desenvolveram em escala laboratorial cerâmicas extrudadas vermelhas com adições de resíduos provenientes do polimento de granitos entre 0, 10, 20, 30 e 40%. Avaliou que sua adição à formulação facilita a secagem das peças, contribui para a redução da porosidade interna, reduz à absorção d' água e a retração linear de queima. Concluiu que esta é uma alternativa viável para a utilização e disposição destes resíduos.

LABRINCHA et al. (2004) avaliaram a viabilidade de utilização do lodo proveniente do tratamento de caulins, argilas e diatomitos na fabricação de refratários produzidos por prensagem, colagem e extrusão. Foram feitos corpos de prova com incorporações de 30 a 70%, queimados na temperatura de 1400 °C e 1650 °C. Os resultados mostraram que seu potencial de reciclagem depende de sua natureza física (calcinado ou crú), dos componentes da formulação e dos métodos utilizados para a produção. Observou especificamente no caso da extrusão que os sais solúveis presentes no resíduo são úteis para a lubrificação da composição e melhoria da capacidade de empacotamento.

TORRES et al. (2004) estudaram sobre o reaproveitamento de resíduos oriundos do polimento de granitos em massas de porcellanato com o objetivo de substituir feldspatos.

Foram feitos corpos de prova com percentuais de 20 a 50% queimados na temperatura de 1180 °C. Os resultados mostram que as características técnicas ficaram dentro das normas ISO 13006.

NEVES et al. (2000) estudaram o aproveitamento dos resíduos oriundos do beneficiamento de granitos na fabricação de tijolos cerâmicos. Os resultados obtidos em laboratório, após diversos ensaios de caracterização das propriedades químicas e físicas, com incorporações de lodo e temperaturas na faixa de 1000°C a 1200 °C, indicaram a possibilidade de utilização destes resíduos na fabricação de tijolos maciços.

COSIN et al. (2003) investigaram em laboratório o potencial de uso do lodo proveniente da estação de tratamento de água industrial como constituinte de massas de cerâmica vermelha. Os corpos de prova foram incorporados com resíduo entre 0 e 100% e queimados na temperatura de 800 °C 900° e 1000° C. Resultados mostram que cerâmicas com 10 e 20% de resíduo incorporado apresentam características técnicas adequadas ao uso.

XAVIER et al. (2001) estudaram a possibilidade de utilização de rejeitos oriundos do corte dos blocos de mármore, de indústrias de beneficiamento de mármore e granitos, em massas cerâmicas. Realizaram diversos ensaios de caracterização e seus resultados indicaram a possibilidade do uso deste resíduo na confecção de artefatos cerâmicos para uso na construção civil.

FERNANDES et al. (2002) avaliaram a utilização do lodo proveniente da estação de tratamento de efluentes de uma indústria cerâmica em massas de gres porcellanato. Foram adicionados aos corpos de prova percentuais de 1 a 100% de resíduo queimados na temperatura de 1100 ° C a 1200 ° C. Os resultados demonstram que o resíduo pode atuar na composição como matéria-prima fundente, devido a presença de materiais componentes de formulações de esmalte, sem prejudicar as características técnicas.

SOARES et al. (2001) estudaram sobre a adição de serragem de couro curtido como matéria-prima para a produção de cerâmica vermelha. Foram realizadas diversas incorporações do resíduo à mistura de argilas e os resultados demonstraram um crescimento da resistência mecânica.

POLIVANOV et al. (2002) avaliaram a utilização de rejeitos do polimento de granitos na fabricação de blocos cerâmicos vazados. Os compósitos foram preparados com incorporações de 5% a 30% de resíduo e queimados na temperatura de 800 ° C 900 ° C e 1000 ° C. Resultados indicaram a possibilidade de utilização destes resíduos na fabricação destes materiais.

MENEZES at al. (2001) estudaram o uso de um rejeito de granito, oriundo da decantação de efluente industrial no processo de obtenção de agregados graúdos para concretos (britas), em composições de cerâmica vermelha para produção de tijolos e telhas. Através de ensaios de caracterizações físico-químicas, concluíram que as propriedades permaneceram dentro das especificações exigidas para os produtos.

ROSA (2002) estudou a viabilidade de obtenção de placas cerâmicas para revestimentos, a partir de resíduos de diversos setores industriais. Nas formulações foram acrescentados percentuais variáveis de resíduos gerados em indústrias de revestimentos cerâmicos, metalúrgicas e mineradoras. Os corpos de prova foram sinterizados entre 900 e 1120 °C. Concluiu que é possível utilizar matérias-primas não convencionais e obter um comportamento semelhante aos produtos fabricados com matérias-primas tradicionais.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os materiais e métodos usados na pesquisa. Os ensaios e análises laboratoriais foram realizados no Centro de Tecnologia em Cerâmica (CTC), no Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT) / Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), no Centro de Pesquisas da Eliane Revestimentos Cerâmicos localizados em Criciúma, SC. Os ensaios de Difração de raios -X e microscopia eletrônica foram realizados no Laboratório de Materiais, da Universidade Federal de Santa Catarina, no município de Florianópolis.

4.1 Resíduo, Massa de Tijolo e Formulações

4.1.1 Resíduo da estação de tratamento de efluentes (ETE)

Amostras do resíduo foram coletadas na saída do filtro-prensa, durante 1 semana de produção por método de quarteamento para análise laboratorial. Obteve-se assim um composto homogêneo, com umidade de aproximadamente 30 %. Esta amostra resultante foi seca em estufa laboratorial na temperatura de 100° C, destorroada manualmente utilizando-se almofariz e pistilo. Após a mesma foi passada em malha 35 tyler para posterior mistura.

A caracterização da distribuição do tamanho de partículas foi realizada em granulômetro por difração a laser Cilas 1064L. A análise química do lodo foi feita por técnica de fluorescência de raios-X (FRX). Realizou-se o trabalho em equipamento Philips, e confeccionou-se pastilhas das amostras em pó. O resíduo foi classificado como não inerte classe II segundo NBR ISO 10004 ABNT, (1987) pelo IPAT/UNESC, através do ensaio de

lixiviação conforme norma NBR ISO 10005 ABNT, (1987) e ensaio de solubilização conforme norma NBR ISO 10006 ABNT, (1987). A análise térmica linear foi feita em um instrumento Netsch STA 409EP, em cadinho de Al_2O_3 ao ar, com a taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$ até 1100°C no Centro de Pesquisas Eliane, com o corpo queimado na temperatura de 1000°C , juntamente com diagrama de greseificação efetuado no forno a rolo *explorer* com o ciclo de 50 minutos nas temperaturas de 900°C , 950°C , 1000°C , 1050°C , 1100°C e 1150°C . O diagrama para o do resíduo foi realizado também nesta última temperatura a fim de evidenciar sua expansão, o que torna difícil o seu reaproveitamento na massa do próprio processo de fabricação de gres porcellanato, por prejudicar características como absorção d'água e resistência à manchas. As características mensuradas neste diagrama foram: absorção de água, retração linear de queima, e densidade aparente a queimado.

4.1.2 Massa de tijolo

Amostras da massa padrão de tijolo foram coletadas através de quarteamento com a amostragem de 1 semana de produção em cerâmica de fabricação de tijolos estruturais localizada na região de morro da fumaça. A amostra resultante foi seca em estufa laboratorial na temperatura de 100°C , destorroada manualmente utilizando-se almofariz e pistilo. Após a mesma foi passada em malha 35 tyler para posterior mistura. A caracterização da distribuição do tamanho de partículas da massa de tijolo foi realizada, empregando-se granulômetro por difração a laser, marca Cilas 1064L. A análise da composição química foi feita por técnica de fluorescência de raios – X. Realizou-se o trabalho em equipamento Philips, e confeccionou-se pastilhas das amostras em pó. A análise térmica linear foi efetuada com auxílio de um dilatômetro Netsch STA 409EP, em cadinho de Al_2O_3 ao ar, com a taxa de aquecimento de 10

° C /min até 1100 ° C no Centro de pesquisas Eliane com o corpo queimado na temperatura de 1000 ° C, juntamente com o diagrama de greseificação executado em forno a rolo *explorer* com o ciclo de 50 minutos nas temperaturas de 900° C, 950 ° C, 1000 ° C, 1050 C e 1100 °C. As características mensuradas neste diagrama foram: absorção de água, retração linear de queima, e densidade aparente a queimado.

4.1.3 Formulações

Composições foram realizadas e ensaios foram efetuados a fim de avaliar-se o efeito da adição de diversos percentuais do resíduo (lodo da ETE) em peças secas, e queimadas nas temperaturas de 900° C, 950 ° C, 1000 ° C, 1050° C e 1100 °C. O percentual máximo de incorporação atingido para a confecção dos corpos de prova foi de 70%. Isto devido a dificuldade de coesão da massa acima deste limite. As propriedades avaliadas foram: retração linear de secagem e queima, densidade aparente a seco e a queimado, absorção de água, resistência mecânica a seco e a queimado, perda ao fogo e colorimetria. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados com os corpos de prova na temperatura de 1000° C. Os ensaios dilatação térmica linear da formulação F1, F2, e F7 linear foram efetuados com auxílio de um dilatômetro Netsch STA 409EP, em cadinho de Al₂O₃ ao ar, com a taxa de aquecimento de 10 ° C /min até 1100 ° C no Centro de pesquisas Eliane com o corpos queimados na temperatura de 1000 ° C. A lixiviação, solubilidade, análise por difração de raio-X e microscopia eletrônica de varredura foram realizadas com as formulações F1, F2 e F7 na temperatura de queima de 1000° C.

A tábua de formulações é demonstrada a seguir na Tabela 3.

Tabela 3: Formulações das composições referente a incorporação de resíduo a massa de tijolo.

| Matéria-prima/ Formulações | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | F7 |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Resíduo (%) | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 50 | 70 |
| Massa de Tijolo (%) | 100 | 95 | 90 | 80 | 70 | 50 | 30 |

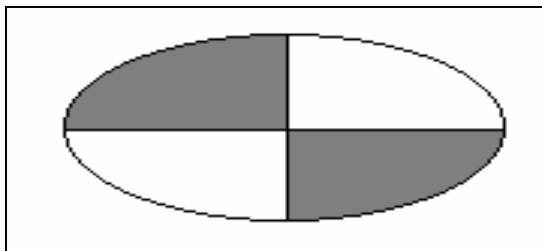
Fonte: dados do autor

4.1.4 Procedimentos para confecção de peças através do método de extrusão

4.1.4.1 Quarteamento

Tanto a formulação de tijolo, quanto o resíduo proveniente do filtro prensa foram quarteados, de modo a obter-se amostras representativas para a execução do trabalho. O procedimento foi conforme norma NBR ISO 10007 ABNT, (1987), e baseava-se em espalhar as amostras sobre uma bancada, em forma de elipse, e depois dividi-la em quatro partes. Duas partes eram escolhidas para continuar na amostragem. Este procedimento foi repetido, até que obteve-se uma quantidade representativa para a execução dos posteriores ensaios. A Figura 12 abaixo demonstra basicamente este procedimento. Sendo que as partes em cinza foram as partes escolhidas para serem utilizadas nas composições das formulações. A ordem alternava-se a cada nova mistura da amostra.

Figura 12 – Figura representativa do quarteamento



Fonte: dados do autor

4.1.4.2 Mistura

Após amostragem, secagem e desagregação as matérias primas foram misturadas manualmente por 10 minutos em recipiente plástico conforme tabela de formulações. As mesmas foram umidificadas em uma agitadora planetária localizada no Centro de Pesquisas Eliane, com umidade de 25 %. A Equação 2 demonstra o cálculo para adição de umidade, conforme procedimento e instrução de trabalho do centro de pesquisas Eliane.

$$UM = \frac{Mts \times UA}{(100 - UA)} \quad (2)$$

onde:

UM = Umidade a ser adicionada na amostra (g)

Mts = Massa total seca da amostra (g)

UA = Umidade a ser adicionada a amostra (%)

4.1.4.3 Extrusão das massas

Após a umidificação das formulações, foram confeccionadas corpos de prova em extrusora mecânica no CTC (Centro de Tecnologia em Cerâmica). As dimensões destes foram no formato de 130 x 30 x 10 mm.

4.1.4.4 Secagem das peças

Depois de extrudadas, efetuou-se a secagem das mesmas em estufa, a temperatura de 100 °C, por um tempo de 24 horas até a obtenção de massa constante. Nesta etapa foi obtido o percentual de retração de secagem de cada composição através da Equação 3, conforme procedimento e instrução de trabalho do centro de pesquisas Eliane.

$$RLS = \left(\frac{Ti - Tf}{Ti} \right) \times 100 \quad (3)$$

onde:

RLS = retração linear de secagem (%)

Ti = tamanho inicial da peça (cm)

Tf = tamanho final da peça (cm)

4.1.4.5 Queima das peças

Depois de secas as peças, foram levadas ao forno *Nabertherm* (Centro de Pesquisas Eliane), e colocadas sobre um suporte refratário. As temperaturas de queima foram de: 900°C, 950°C, 1000°C, 1050°C e 1100°C. O ciclo de queima teve duração de 24 h com um patamar de queima para cada formulação de 1 h.

4.2 Procedimentos para Realização dos Ensaios

4.2.1 Teste de densidade aparente

As peças a serem ensaiadas foram pesadas em balança de precisão (0,01 g). Em seguida colocou-se em um recipiente uma quantidade de mercúrio para a realização do teste. O recipiente com mercúrio é tarado sobre a balança. O aparelho chamado empuxímetro é mergulhado no recipiente com mercúrio, de maneira que sua haste menor fique nivelada ao nível da superfície. Novamente executa-se a taratura da balança. O empuxímetro é deslocado para que a peça seja colocada sobre a superfície do mercúrio, e em seguida submergida pelas hastes do aparelho. Regula-se a haste menor de maneira que fique no nível da superfície do mercúrio. O valor obtido em gramas demonstrado pela balança é somente o valor do deslocamento do mercúrio provocado pela imersão da peça, ou seja o empuxo. A densidade aparente é calculada pela Equação 4, conforme procedimento e instrução de trabalho do centro de pesquisas Eliane.

$$Dap = \left(\frac{Pe \times 13,54}{Em} \right) \quad (4)$$

onde:

Dap = Densidade aparente (g/cm^3)

Pe = Peso da peça (g)

Em = Empuxo (g)

Obs: O valor de $13,54 \text{ g/cm}^3$ é a densidade do mercúrio na temperatura de 25°C

4.2.2 Retração linear

Os ensaios foram realizados e calculados conforme NBR ISO 13818, ABNT, (1997). A Equação 5 a seguir demonstra a fórmula do cálculo.

$$RLQ = \left(\frac{Ti - Tf}{Ti} \right) \times 100 \quad (5)$$

onde:

RLQ = retração linear de queima (%)

Ti = tamanho inicial da peça (cm)

Tf = tamanho final da peça (cm)

4.2.3 Absorção d'água

Os ensaios foram realizados e os resultados calculados conforme descrito na NBR

ISO 13818 ABNT, (1997). A Equação 6 abaixo demonstra a fórmula do cálculo:

$$AA = \left(\frac{Pu - Ps}{Ps} \right) \times 100 \quad (6)$$

onde:

AA = absorção d'água (%)

Pu = Peso úmido da amostra (g)

Ps = Peso seco da amostra (g)

4.2.4 Resistência mecânica

Os ensaios foram realizados e os resultados calculados conforme descrito na NBR

ISO 13818 ABNT, (1997). A Equação 7 abaixo mostra o cálculo da resistência mecânica:

$$RM = \frac{3xFL}{2xbxh^2} \quad (7)$$

onde:

RM = módulo de ruptura (resistência mecânica) em kgf/cm^2

F = força de ruptura (kgf)

L = distância entre os suportes (cm)

b = comprimento da peça ensaiada (cm)

h = mínima espessura medida na seção de ruptura (cm)

4.2.5 Perda ao fogo

Os ensaios foram realizados e os resultados calculados conforme média realizada entre três corpos de prova de cada formulação por temperatura. A Equação 8 mostra o cálculo da perda ao fogo, calculada conforme procedimento e instrução de trabalho do centro de pesquisas Eliane:

$$PF = \left(\frac{Ps - Pq}{Pq} \right) \times 100 \quad (8)$$

onde:

PF = Perda ao fogo (%)

Ps = Peso seco da amostra (g)

Pq = Peso após a queima da amostra (g)

4.2.6 Colorimetria

Os ensaios foram realizados conforme norma NBR ISO 13818 ABNT, (1997). Esta norma determina como medir tonalidades atingidas pelas peças cerâmicas através de um instrumento foto-elétrico chamado colorímetro. Este instrumento utiliza-se de alguns comprimentos de onda do espectro total para fornecer a informação de cor atingida pela peça. As cores são definidas em 3 coordenadas L, a, b orientadas no espaço a 90° C entre si, formando assim um “espaço de cor”. Sendo que a coordenada L é uma indicação de “claro” e “escuro”, e não existe uma cromaticidade nessa direção. A coordenada “a” é uma indicação da cromaticidade na direção do verde (-) e do vermelho (+). A coordenada “b” é uma indicação da cromaticidade na direção do azul (-) e do amarelo (+). Define-se a partir destes parâmetros a diferença de cor Delta “E”, como vetor soma das três diferenças de cor componentes conforme a Equação 9 demonstrada abaixo:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (9)$$

onde:

Delta E = Diferença de cor da amostra em relação ao padrão (judd)

Delta L = Diferença de cor clara e escura da amostra em relação ao padrão (judd)

Delta a = Diferença de cor verde e vermelho da amostra em relação ao padrão (judd)

Delta b = Diferença de cor azul e amarelo da amostra em relação ao padrão (judd)

4.2.7 Resistência à compressão

Os ensaios foram realizados e os resultados obtidos conforme descrito na NBR 6224 ABNT, (2001). Os corpos de prova apresentaram dimensões de 50 x 30 x 10 mm e a taxa de aplicação de tensão foi de 1 Mpa / segundo. A Equação 10 demonstra a fórmula utilizada para o cálculo da resistência a compressão. As duas faces de trabalho consideradas para estes ensaios foram às superfícies com dimensões de 50 x 30 mm.

$$RC = \frac{CMR}{(AB\ 1 + AB\ 2)/2} \quad (10)$$

onde:

RC = Resistência a compressão (MPa)

CMR = Carga máxima de resistência do corpo de prova (N)

AB 1 = Área bruta da face 1 de trabalho (mm²)

AB 2 = Área bruta da face 2 de trabalho (mm²)

4.2.8 Dilatação térmica linear

A dilatação térmica linear é o aumento por unidade de comprimento causado pela elevação de temperatura de 1° C, e é expressa na unidade de 10⁻⁷/°C. O ensaio foi efetuado com auxílio de um dilatômetro Netsch STA 409EP, em cadinho de Al₂O₃ ao ar, com a taxa de aquecimento de 10 °C /min até 1000 °C, no Centro de pesquisas Eliane com o corpo de prova queimado na temperatura de 1000 ° C.

4.2.9 Lixiviação

A lixiviação consistiu na operação de separar certas substâncias contidas nos resíduos industriais por meio de lavagem ou percolação. Este ensaio foi realizado pelo IPAT/UNESC, conforme norma de lixiviação de resíduos NBR ISO 10005 ABNT, (1987).

4.2.10 Solubilidade

O ensaio de solubilidade determina através de seu resultado as condições para a diferenciação dos resíduos sólidos classe II – não inerte e classe III – inerte. O procedimento foi efetuado conforme norma NBR ISO 10006 ABNT, (1987), pelo IPAT/UNESC.

4.2.11 Difração por raios - X

A aplicação desta técnica, à ciência cristalográfica dos materiais consiste em expor uma amostra de um material ou substância, ao raio - X originando uma luz difratada pelos planos das células unitárias de uma estrutura cristalina ou amorfa. Foi realizada usando um difratômetro de raios-X da marca Philips modelo X Pert, na geometria $\theta - 2\theta$ para determinar-se às fases presentes. O anodo utilizado foi o de cobre com $\lambda_1 = 1,54060 \text{ \AA}$ e $\lambda_2 = 1,54439 \text{ \AA}$ com filtro de níquel com monocromador e a faixa angular analisada de $5,00^\circ$ a $120,00^\circ$. Efetuou-se as difrações em temperatura e pressão ambiente. Identificou-se as fases por comparação de um perfil desconhecido com o conjunto de difração padrão coletado e mantido pelo JCPDS – (Joint Committee on Powder Diffraction Standards).

4.2.12 Microscopia eletrônica

A microscopia eletrônica é o método que realiza a análise microestruturas presentes nos materiais, através de elétrons. Utilizou-se, nesta etapa, um microscópio eletrônico marca Philips modelo XL 30. Para uma melhor resolução utilizou-se uma energia de 20,00 keV, um aumento de 500 vezes, na qual procurou-se verificar características superficiais, bem como analisar as características de fratura.

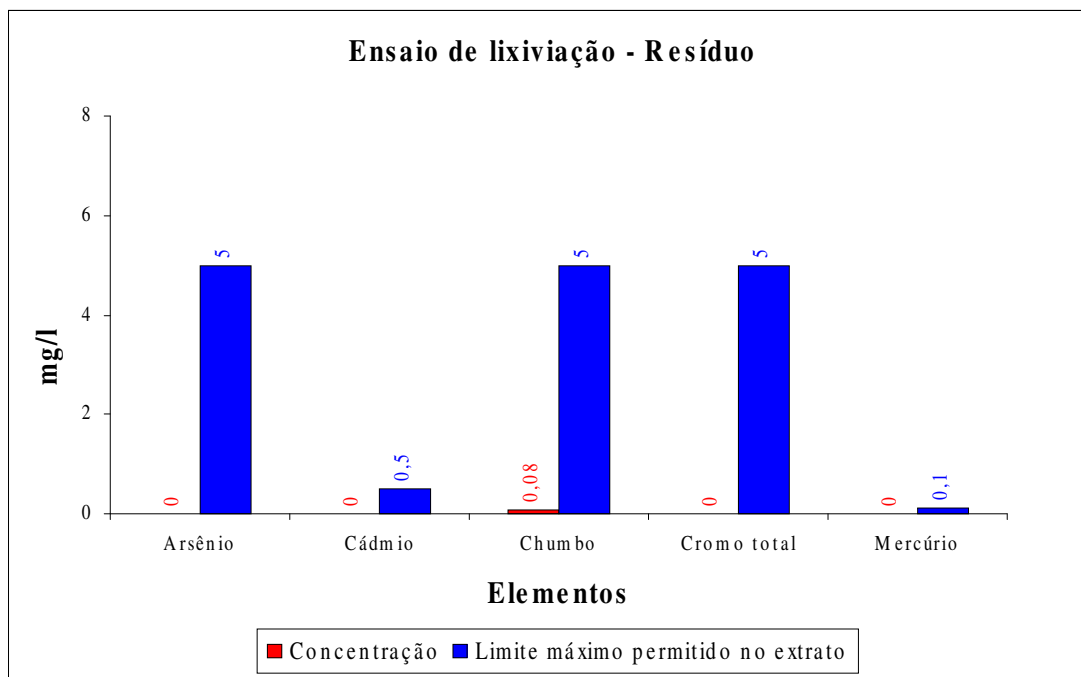
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização das matérias-primas

5.1.1 Lixiviação e solubilidade do resíduo

No teste de lixiviação realizado, pode-se observar pelo traçado gráfico da Figura 13, que o resíduo é classificado como não perigoso, conforme NBR ISO 10004 ABNT, (1987) indicando a necessidade de realização do ensaio de solubilização. Neste primeiro teste foram analisados cinco elementos.

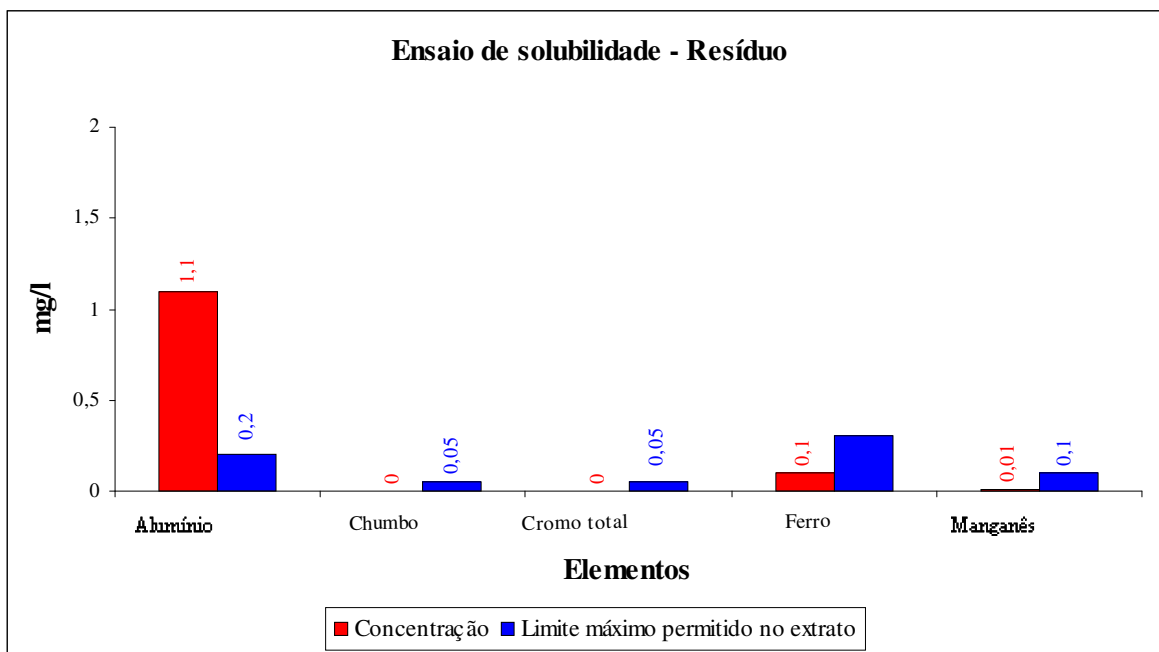
Figura 13: Ensaio de lixiviação do resíduo sólido



Fonte: dados do autor

No teste de solubilização, por sua vez, o resíduo foi classificado como classe II (não-inerte), conforme NBR ISO 10004 ABNT, (1987). Neste teste foram analisados 5 elementos. Dentro deste enquadramento significa dizer-se o seguinte: Resíduo classe II – Engloba aquelas substâncias que podem apresentar solubilidade em água, combustibilidade e biodegradabilidade. O ensaio de solubilização foi conclusivo para tal enquadramento, devido ao índice acima da norma relativo apenas ao alumínio presentes na amostra. Resultados do ensaio são demonstrados no traçado gráfico da Figura 14.

Figura 14 - Ensaio de solubilização do resíduo sólido



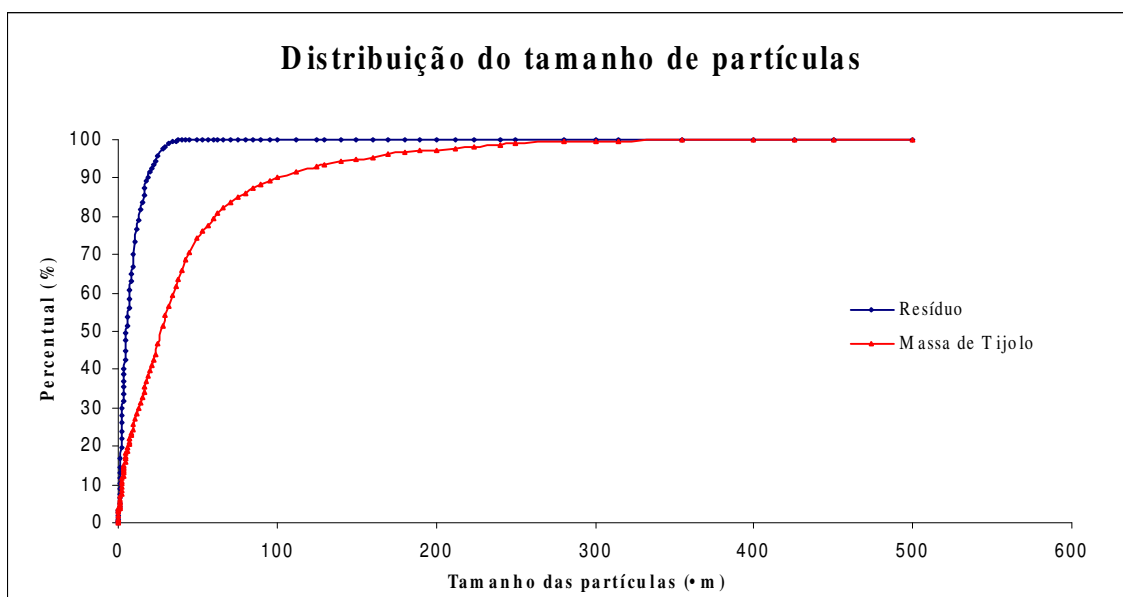
Fonte: dados do autor

5.1.2 Distribuição granulométrica do resíduo e massa de tijolo

No gráfico das Figuras 15 e 16, apresenta-se a curva cumulativa e normal respectivamente, da distribuição granulométrica do resíduo e da massa de tijolo, realizada por

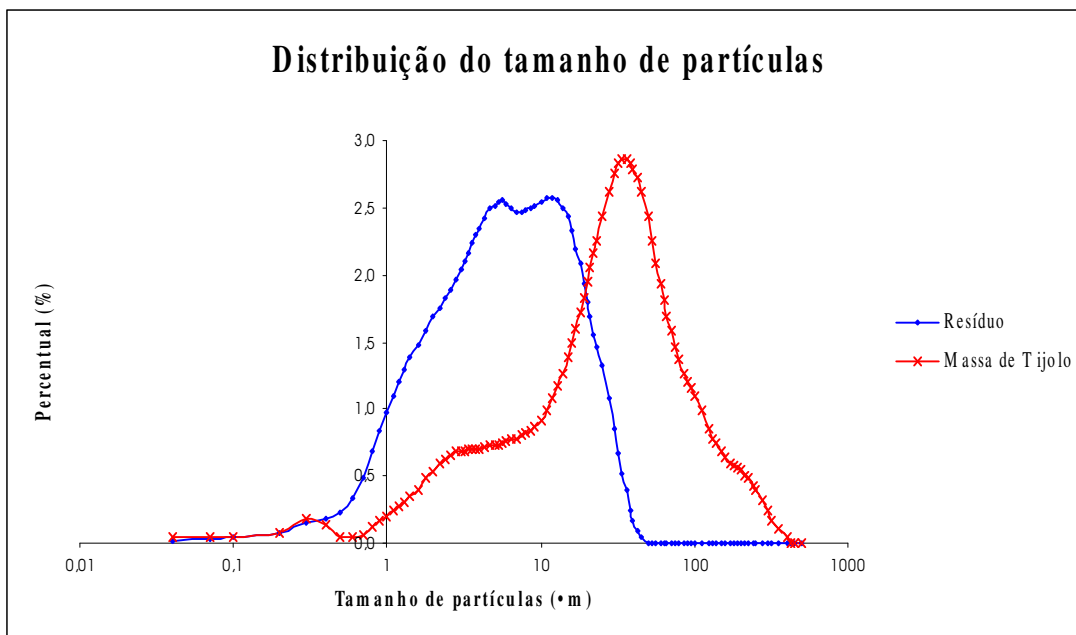
difração a laser. No resíduo observa-se que 100 % das partículas estão abaixo de 45 μm , e 10% estão abaixo de 1,08 μm . O tamanho médio de partículas, calculado com 50% da curva cumulativa, foi de 5,4 μm para a amostra analisada. Na massa de tijolo observa-se que 100 % das partículas estão abaixo de 400 μm , e 10% estão abaixo de 2,39 μm . O tamanho médio de partículas, calculado com 50% da curva cumulativa, foi de 27,11 μm para a amostra analisada.

Figura 15 – Curva cumulativa de distribuição do tamanho de partículas do resíduo e massa de tijolo.



Fonte: dados do autor

Figura 16 – Curva normal de distribuição do tamanho de partículas do resíduo e massa de Tijolo



Fonte: dados do autor

5.1.3 Análise química do resíduo e massa de tijolo

Na tabela 4, apresenta-se a composição química do resíduo e da massa de tijolo, realizada por fluorescência de raios-x. Comparando as análises da massa e do resíduo, observa-se que os óxidos Cr_2O_3 , ZrO_2 são encontrados apenas na composição do resíduo. Estes elementos são oriundos do processo de fabricação de porcellanato, e normalmente são acrescentados na etapa de preparação de massa na forma de corantes e opacificantes.

Tabela 4 – Análise química do resíduo e massa de tijolo.

| Óxidos | Massa do Tijolo (%) | Resíduo (%) |
|--------------------------------|---------------------|-------------|
| SiO ₂ | 73,51 | 63,72 |
| Al ₂ O ₃ | 14,42 | 15,49 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,90 | 0,67 |
| CaO | 0,10 | 0,91 |
| Na ₂ O | 0,14 | 2,66 |
| K ₂ O | 1,54 | 1,36 |
| MnO | 0,01 | 0,03 |
| TiO ₂ | 0,72 | 0,28 |
| MgO | 0,41 | 6,37 |
| P ₂ O ₅ | 0,05 | 0,07 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,00 | 0,07 |
| ZrO ₂ | 0,00 | 1,95 |
| Perda ao Fogo | 6,21 | 6,42 |

Fonte: dados do autor

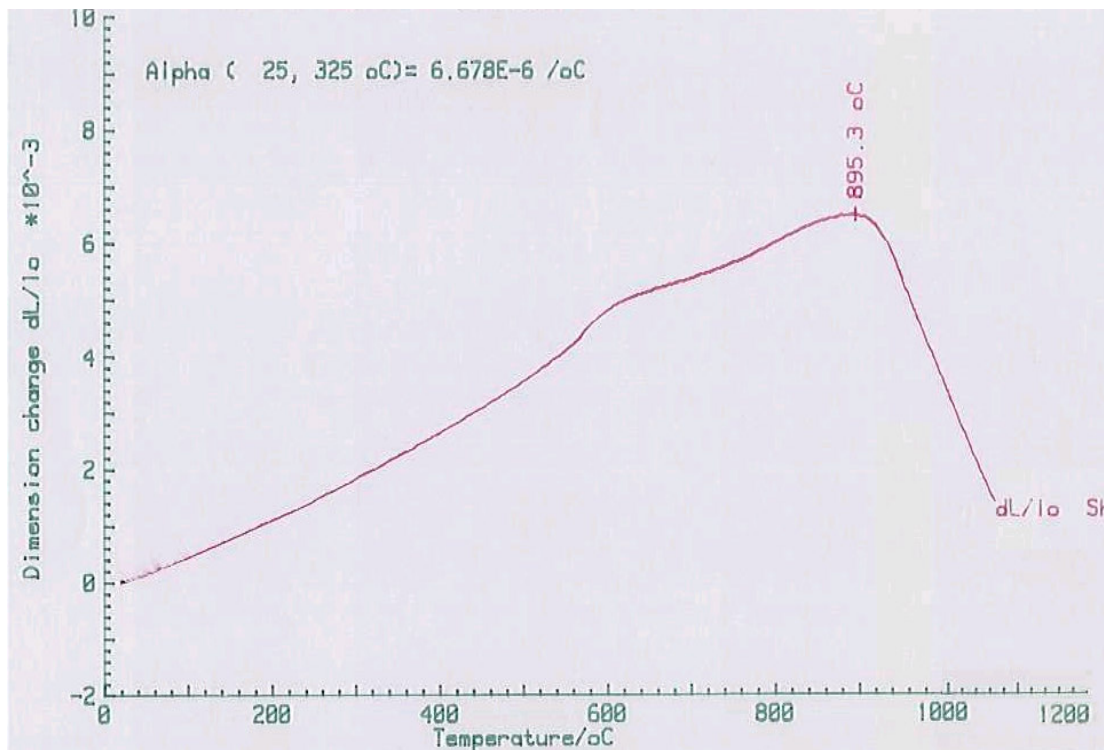
No restante a composição química do resíduo é similar a das matérias-primas e insumos utilizadas no processo. São materiais de base sílico-aluminosas que contém quantidades muito variáveis de óxidos alcalinos e alcalinos terrosos. Sua análise química peculiar, apresenta teores na faixa de 63,72 % de óxido de silício, 15,49 % de óxido de alumínio e 0,67 % de óxido de ferro, além de teores de álcalis na ordem de 4 %. Outros óxidos que também chamam a atenção são o óxido de cálcio e magnésio que somados ficam na casa de 7 %. Unindo-se as características, derivativas da análise química e distribuição granulométrica verifica-se que este material pode ser um desplastificante interessante, na composição de massas de cerâmica vermelha, que utiliza-se de componentes argilosos com alta plasticidade e baixa granulometria, que tornam frequentemente o processamento do produto mais complicado, ocasionando ao mesmo dificuldades de secagem e variações dimensionais pós queima ACIMAC, (2002).

Vale também citar que o resíduo tem um percentual de sílica menor que o da massa de tijolo, o que conforme SÄNCHEZ et al (2004), pode ser benéfico a composição no que diz respeito ao aumento da resistência mecânica à queimado, já que percentuais elevados de sílica na composição de cerâmica vermelha tendem a diminuir a sua resistência após a queima.

5.1.4 Dilatação térmica do resíduo e massa de tijolo

Na Figura 17 apresentam-se a curva de análise térmica linear do resíduo. A faixa analisada foi de 25 ° C a 1100 ° C. A dilatação do material na faixa de temperatura que vai de 25 ° C a 325 ° C ficou em $66,78 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$. De 560 ° C a 620 ° C ocorreu um discreto aumento de volume devido a transformação do quartzo α para quartzo β . De 650 ° a 895,3 ° C ocorreu uma dilatação ascendente típica de materiais com presença de álcalis em sua composição. De 896 ° C a 1100 ° C ocorreu uma maior retração da amostra devido a provável destruição da metacaulinita, que passa para uma fase do tipo espinélio com a separação de sílica amorfa.

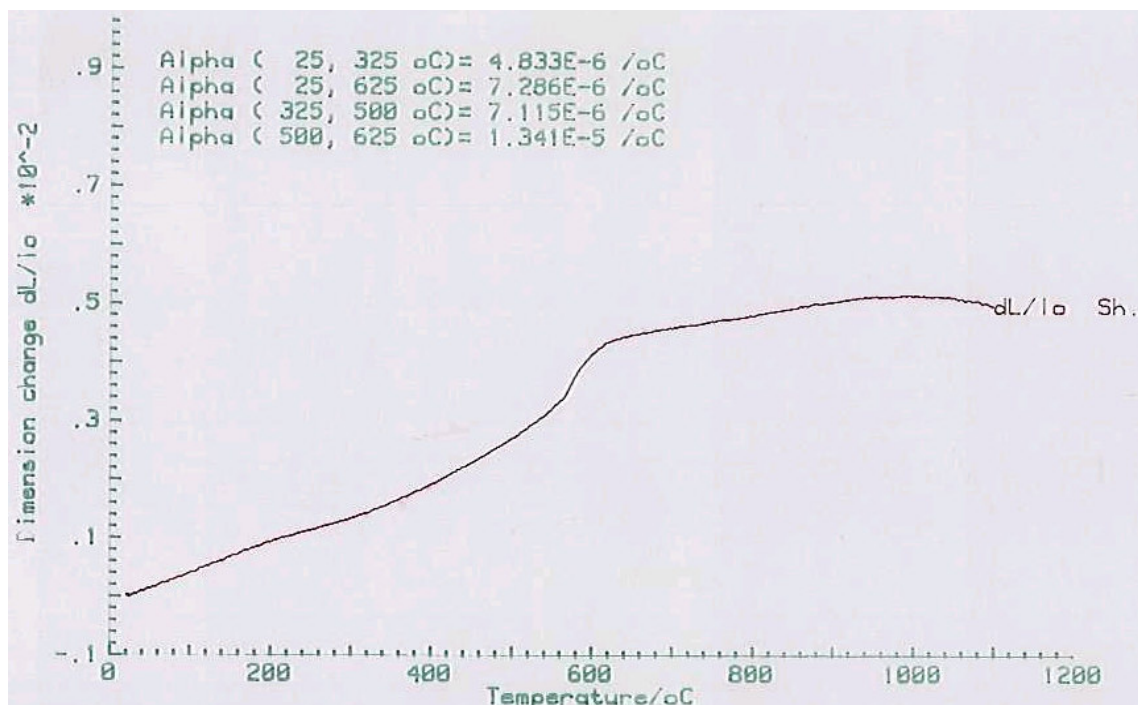
Figura 17: Análise térmica linear do resíduo.



Fonte: Dados do autor

Na Figura 18 apresentam-se a curva de análise térmica linear da massa de tijolo. A faixa analisada foi de 25 ° C a 325 ° C. A dilatação do material nesta faixa de temperatura foi de $48,33 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$. De 540 ° C a 640 ° C ocorreu um leve aumento de volume devido a transformação do quartzo α para quartzo β . De 800 ° C a 1100 ° C ocorreu uma pequena dilatação devido a provável formação da metacaulinita.

Figura 18 – Análise térmica linear da massa de tijolo.



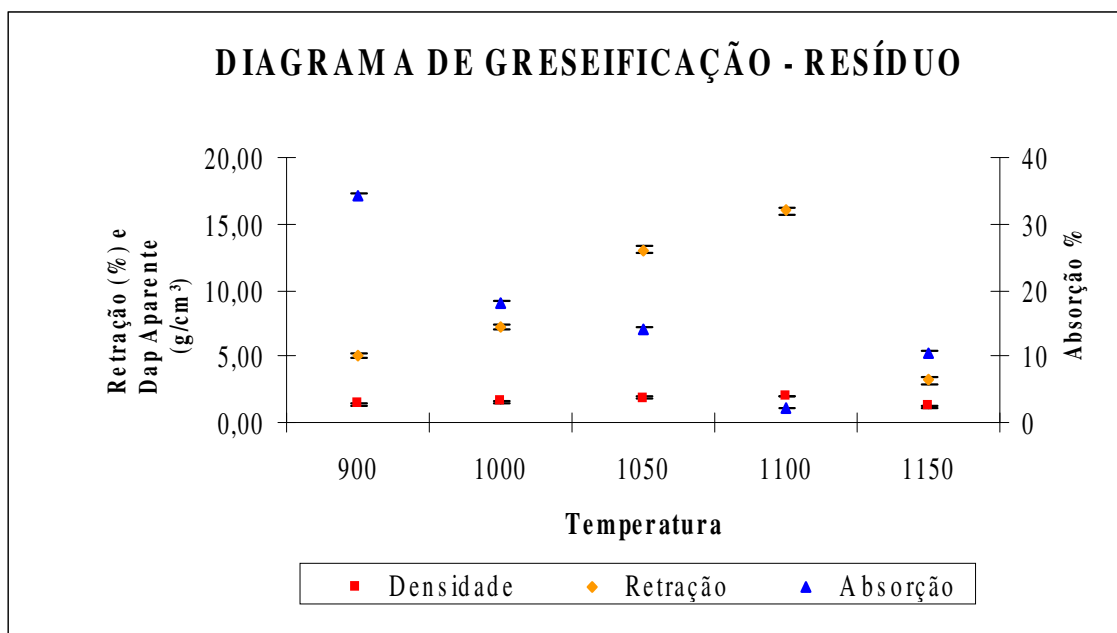
Fonte: dados do autor

5.1.5 Diagrama de gresificação do resíduo e massa de tijolo

Analisando o gráfico da Figura 19, observa-se que na faixa de temperatura que vai de 900°C a 1000°C o resíduo comportase com certa estabilidade na queima com variações de retração da ordem de 5 a 7% e uma acentuada diminuição na absorção d'água de 34% para 18%. Isto provavelmente deva-se a presença de álcalis, óxido de ferro e carbonatos na composição. Observa-se também um certo aumento na densificação de 1,38g/cm³ para 1,54 g/cm³, o que pode contribuir também com o aumento da resistência da composição. Esta análise foi realizada buscando-se ir de encontro as condições de queima em que são submetidas as composições de cerâmica vermelha. De 1000° a 1100° C o resíduo segue alcançando a densificação máxima de 1,98 g/cm³, absorção de 2% e retração de 16 %. Acima

de 1100° C o material sofre uma expansão provavelmente causada pela presença de sulfatos e carbonatos a composição. Sua densificação cai para a casa de 1,22 g/cm³, a absorção aumenta para 10%, a retração diminui para 3 %. Como o gres porcellanato é queimado na de temperatura de aproximadamente 1200° C na empresa em questão, este material ao ser reinserido à formulação poderia causar um aumento da porosidade interna do produto, aumentando a sua absorção d' água, diminuindo sua resistência mecânica à queimado e resistência à manchas após o polimento. Além da possibilidade de causar na etapa de queima, devido a sua elevada expansão, problemas de piroplasticidade e instabilidades dimensionais.

Figura 19 – Diagrama de greseificação do resíduo.

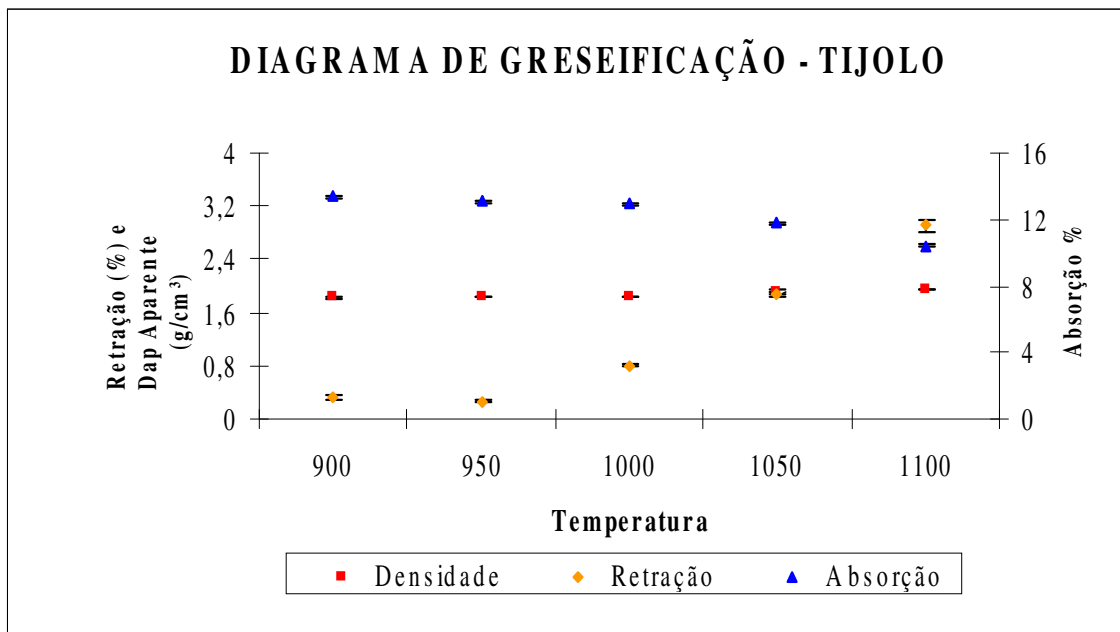


Fonte: dados do autor

No gráfico da Figura 20, observa-se que na faixa de temperatura que vai de 900° C a 1000° C a massa de tijolo comporta-se com certa estabilidade no que diz respeito a sua densificação, com a pequena evolução de 1,82 g/cm³ para 1,83 g/cm³. Sua absorção descrece de 13,38 % para 12,91 %, e a retração aumenta de 0,32 % para 0,81g/cm³, o que pode

contribuir também com o aumento da resistência da composição. Acima de 1000° C até a temperatura de 1100° C o material sofre um aumento de densidade. O valor obtido é de 1,95 g/cm³. A absorção diminui de 12,91 % para 10,42%, e a retração aumenta 0,81% para 2,91%.

Figura 20 – Diagrama de greseificação da massa de tijolo.



Fonte: dados do autor

5.2 Caracterização das Formulações

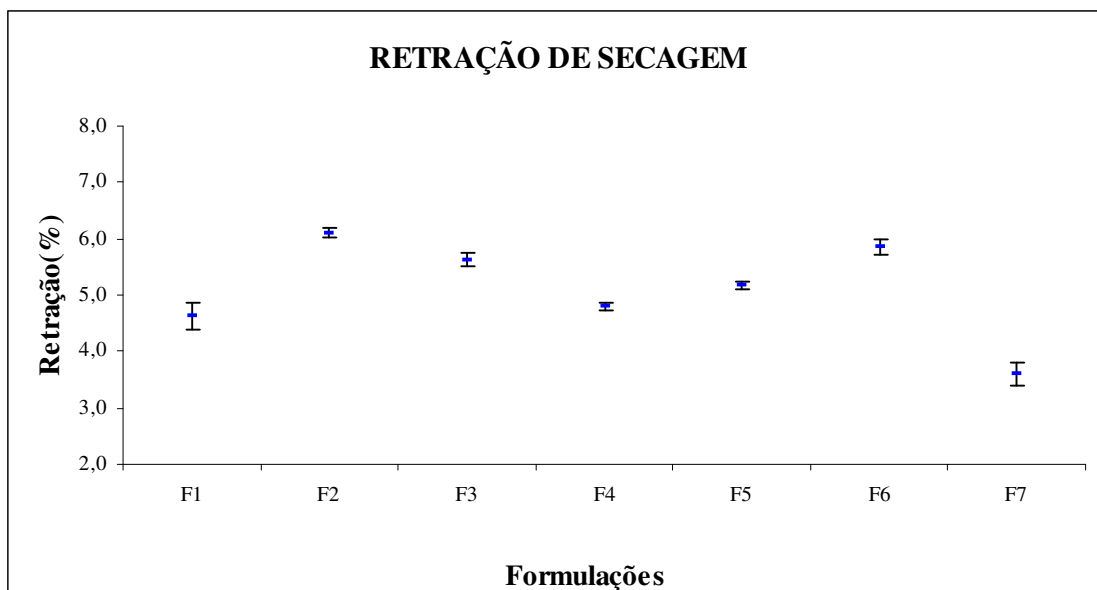
Nos gráficos de variação de propriedades a serem apresentados a seguir, são expressos os valores médios das propriedades medidas e, na forma de uma barra de erros, ou seja, a relação percentual entre o desvio padrão e a média calculada.

5.2.1 Ensaio a seco

Os testes feitos com as formulações nesta etapa foram: retração linear de secagem, densidade aparente e resistência mecânica. Os resultados são demonstrados a seguir.

5.2.1.1 Retração linear de secagem

O gráfico da Figura 21 apresenta os resultados da retração linear de secagem, após a secagem das formulações em estufa laboratorial a 100 ° C por 24 h com obtenção de peso constante. Observa-se que a retração aumenta inicialmente de 4,63% com a formulação 1, para 6,1% com a formulação 2. A partir da formulação 3 diminuem novamente indo para a faixa de 5% em média, terminando a formulação 7 com uma retração de 3,61%. Resultados demonstram que com a adição de resíduo até a faixa de 5% ocorre um aumento da retração de secagem, propiciado provavelmente, pela maior acomodação das partículas de resíduo e massa de tijolo. O que complementa LABRINCHA et al (2004), quando menciona que resíduos oriundos do tratamento de efluentes podem contribuir, no caso da extrusão, com a lubrificação da composição e capacidade de empacotamento do material. Isto também é evidenciado pela distribuição do tamanho de partículas dos dois componentes, já que um tende a ser o complemento do outro, e pelo visto neste percentual de 5%. A partir da formulação 3 com 10 % de adição de resíduo a formulação os valores tendem a estabilizar-se e diminuir, fugindo assim do ponto ótimo de densificação. Resultados de densidade aparente e resistência mecânica a seco também demonstram estas tendências

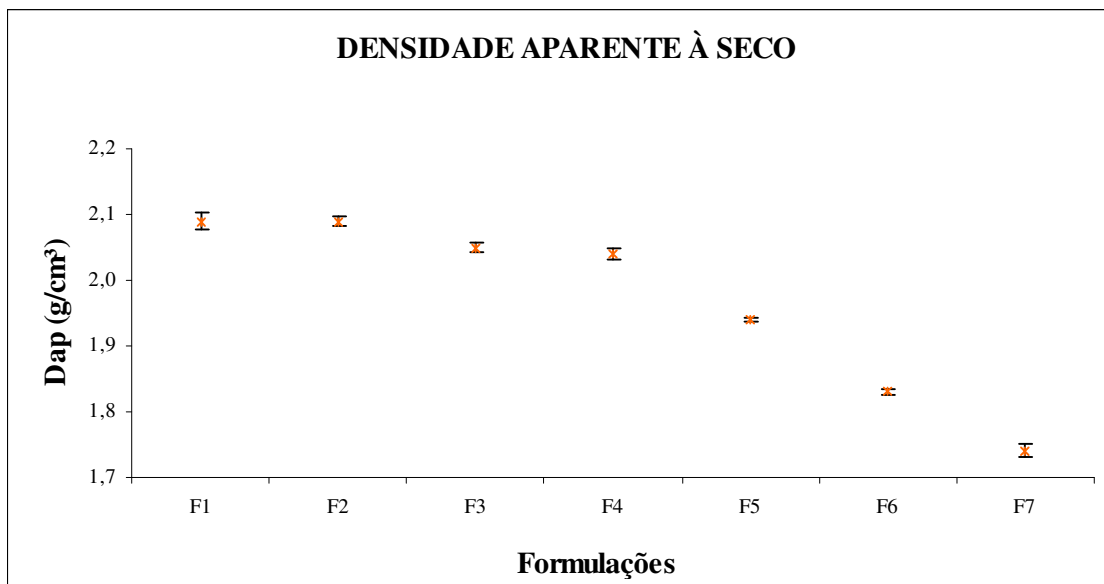
Figura 21 – Traçado gráfico da retração de secagem das formulações.

Fonte: dados do autor

5.2.1.2 Densidade aparente a seco

Os resultados de densidade aparente demonstrados pelo gráfico da Figura 22, evidenciam, uma estabilização da densidade até a formulação 2, com a obtenção de uma densidade de $2,09 \text{ g/cm}^3$. A partir da formulação 3 ocorre porém uma diminuição da densificação das composições, com um valor de densidade na formulação 7 de $1,74 \text{ g/cm}^3$. O resultado demonstra portanto que a partir da formulação 3 quanto mais é adicionado resíduo à formulação menor a densidade aparente a seco. O que é condizente para um material de natureza desplastificante ACIMAC, (2002).

Figura 22 – Traçado gráfico da densidade aparente a seco das formulações.

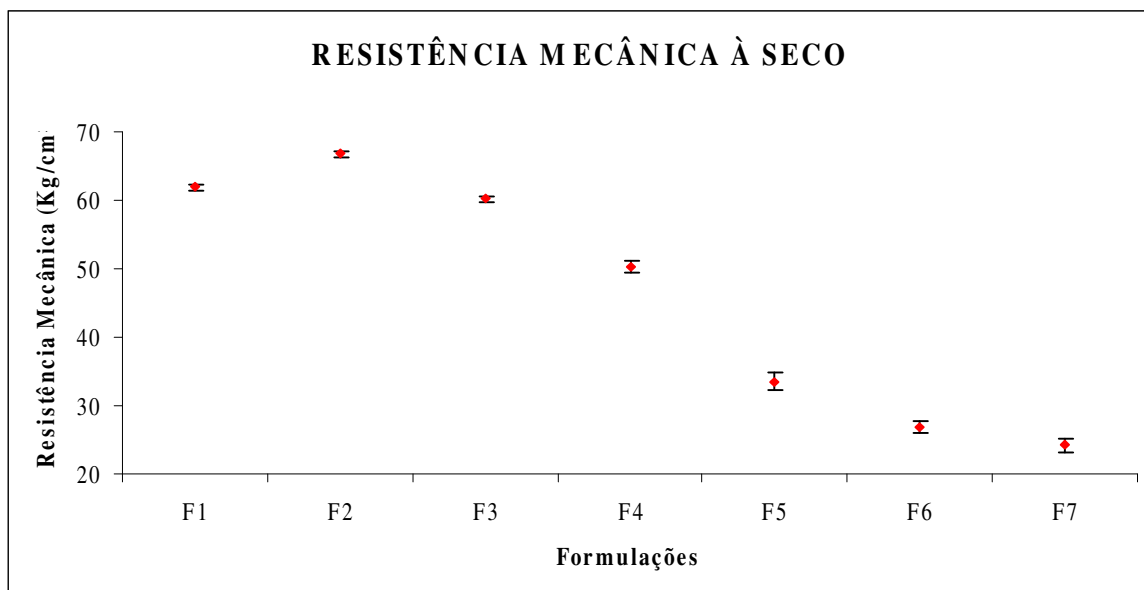


Fonte: dados do autor

5.2.1.3 Resistência mecânica a seco

O ensaio de resistência mecânica a seco demonstrou a tendência observada nos resultados de retração de secagem e densidade aparente a seco. O gráfico da Figura 23, evidencia um aumento da resistência mecânica seco da formulação 2 em relação a formulação 1. Houve uma evolução na resistência de 61,92 Kgf/cm² para 66,80 Kgf/cm². A partir da formulação 3 ocorre porém um decréscimo. O valor atingido é de 60,18 Kgf/cm². A formulação 7 evidencia ainda mais esta tendência de queda atingindo o resultado de 24,20 Kgf/cm².

Figura 23 – Traçado gráfico da resistência mecânica a seco das formulações.



Fonte: dados do autor

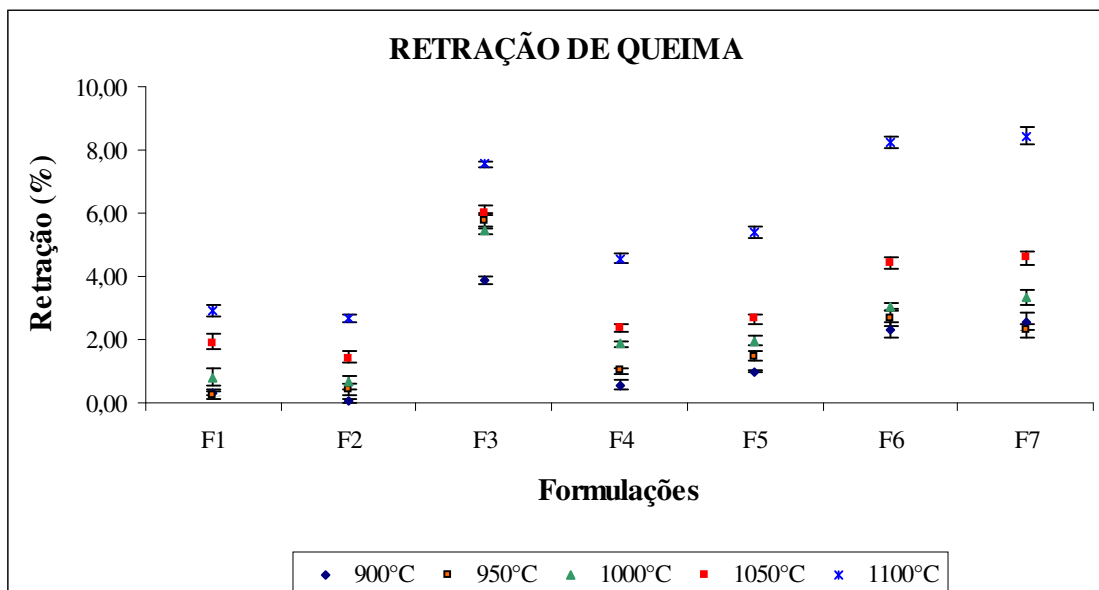
5.2.2 Ensaios pós-queima

Os testes feitos com as formulações nesta etapa foram: retração linear, densidade aparente, resistência mecânica, absorção de água, perda ao fogo e colorimetria. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados com os corpos de prova na temperatura de 1000° C. Os ensaios dilatação térmica, lixiviação, solubilidade, análise por difração de raio-X e microscopia eletrônica de varredura foram realizados com as formulações F1, F2 e F7 na temperatura de queima de 1000° C. Esta temperatura foi escolhida, devido aos melhores resultados de resistência mecânica à queimado, densidade aparente a queimado, e absorção d' água. Também por se tratar da temperatura de queima na qual a massa padrão de tijolo é queimada na cerâmica estrutural analisada. Seguem a seguir os resultados.

5.2.2.1 Retração linear de queima

O gráfico da Figura 24 apresenta os resultados da retração linear de queima das composições. As temperaturas utilizadas para avaliar as características do material após a queima, foram de: 900°C, 950°C, 1000°C, 1050°C e 1100°C. O ciclo de queima teve duração de 24 h com um patamar de queima para cada formulação de 1 h. Os resultados demonstram que até a formulação 2 os resultados de retração linear de queima permaneceram estáveis nas diversas temperaturas. A partir da formulação 3, ocorre um aumento abrupto da retração. A média da retração nas formulações 1 e 2 nas diversas temperaturas ficou em 1%, já a média da formulação 3 nas diversas temperaturas ficou em 5%. No decorrer da avaliação, as outras formulações seguem tendência de acréscimo a retração. Esta tendência deve-se provavelmente aos percentuais de álcalis e carbonatos presentes no resíduo, que são bases para a formação de fases vítreas na composição; e conforme TORRES et al (2004) com a avaliação de resíduo sólido similar também podem ser materiais substitutos do feldspato na fabricação de porcellana pelo mesmo motivo. Observa-se também com clareza que quanto maior a temperatura de trabalho, maior é a retração de queima para todas as formulações.

Figura 24 – Traçado gráfico da retração de queima das formulações



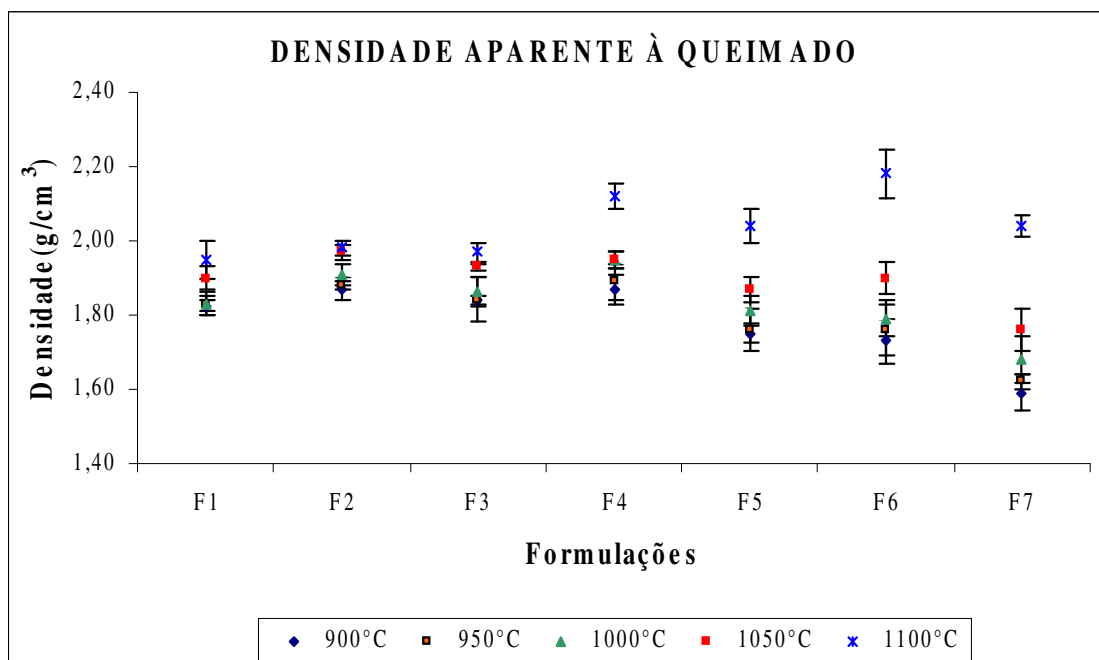
Fonte: dados do autor

5.2.2.2 Densidade aparente a queimado

Na análise da densidade aparente, realizada no gráfico da Figura 25, observa-se que a partir da formulação 2 até a formulação 4 ocorre um aumento gradativo na densificação do produto. Na formulação 1 na temperatura de 1000 ° C a densidade aparente é de 1,83 g/cm³, enquanto que na formulação 2 na mesma temperatura a densidade é de 1,91 g/cm³, e na formulação 4 1,95 g/cm³. No decorrer da avaliação a formulação 5, 6 e 7 teêm um decréscimo deste parâmetro na mesma temperatura. Os respectivos valores são de 1,81 g/cm³, 1,79 g/cm³ e 1,68 g/cm³. Esta tendência segue também para as demais temperaturas. Com a inserção do resíduo a composição observa-se até o percentual de 20% portanto a maior densificação do material. Conforme Sanches et al (2004), no estudo da incorporação de resíduos sólidos provenientes do polimento de granitos, em massas de cerâmicas vermelhas a temperatura de 970° C, evidenciou que a fase líquida e a tensão superficial que circundam as

partículas de óxidos do tipo K_2O e Na_2O , contribuem para a aproximação das partículas do substrato, fechando a sua porosidade, e contribuindo assim para diminuição da porosidade total do peça.

Figura 25 – Traçado gráfico da densidade aparente a queimado das formulações.



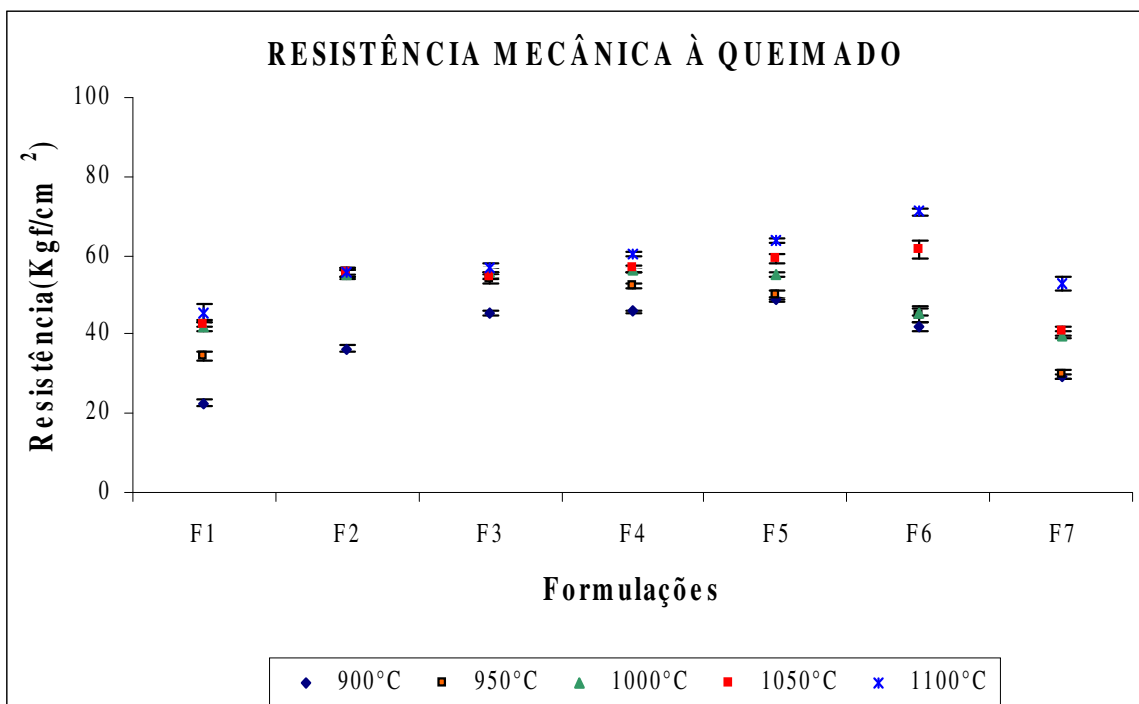
Fonte: dados do autor

5.2.2.3 Resistência mecânica a queimado

O gráfico da figura 26 apresenta os resultados de resistência mecânica a queimado das diversas formulações. Observa-se neste caso a mesma tendência da densidade aparente a queimado, onde a partir da formulação 2 até a formulação 4, ocorre um acréscimo da resistência mecânica a queimado. Resultado este decorrente também da maior densificação destas composições. Na temperatura de 1000° C a resistência mecânica a queimado da formulação 1 foi de 41,96 Kgf/cm². A formulação 2 apresentou resistência de 55,41 Kgf/cm²,

e a formulação 4 o valor de 56,19 Kgf/cm². A partir da formulação 5 até a formulação 7 ocorre um leve decréscimo da resistência correlacionada ao mesmo motivo anterior, ou seja, a densidade aparente. A resistência mecânica da formulação 5, 6 e 7 na temperatura de 1000 °C foi de 55,12 Kgf/cm², 45,57 Kgf/cm², e 39,89 Kgf/cm². Vale salientar porém que somente a formulação 7 foi a que ficou com resistência mecânica a queimado, nesta faixa de temperatura, com valor menor que a formulação F1.

Figura 26 – Traçado gráfico da resistência mecânica a queimado das formulações.



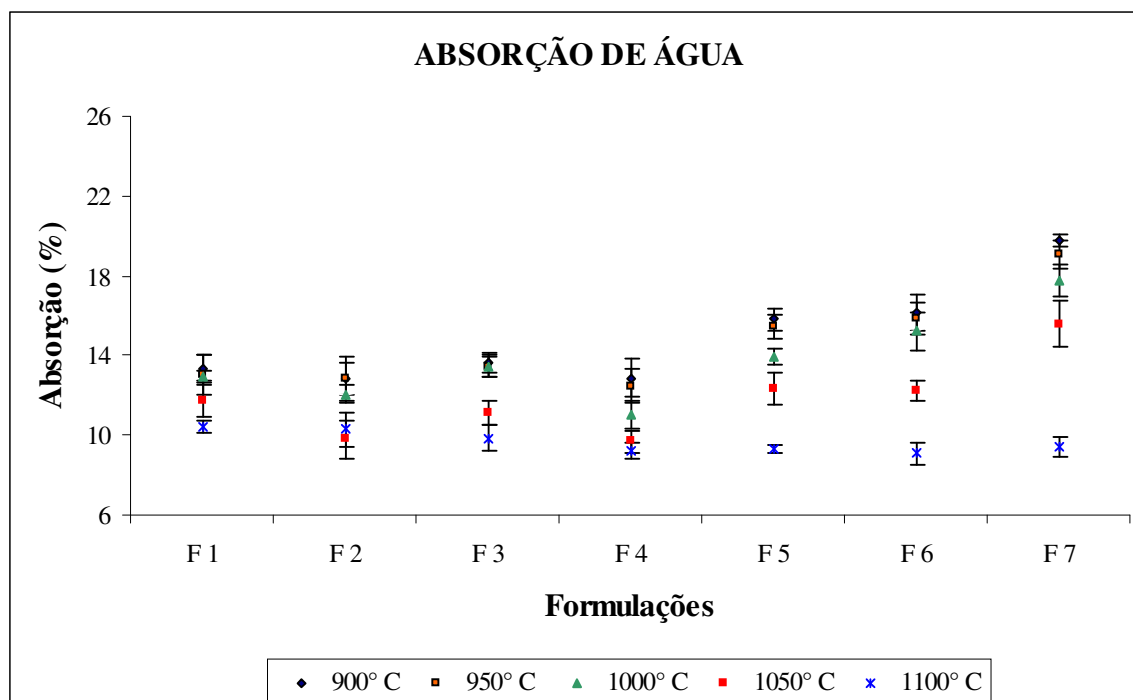
Fonte: dados do autor

5.2.2.4 Absorção d' água

O gráfico da Figura 27, apresenta os resultados de absorção d' água das formulações. Observa-se neste parâmetro até a formulação 4, a tendência de queda, na

temperatura analisada de 1000° C. A partir da formulação 5 o valor sobe mais bruscamente. A formulação 1 apresentou valor de absorção d' água de 12,91 % para a temperatura de análise, sendo que a formulação 4, apresentou o valor de 11,03%. Na formulação 5 o valor foi de 13,94 % e na formulação 7 o valor foi de 17,74%. Em análise mais peculiar, vale salientar que na temperatura de 1100° C, que é a temperatura pelo diagrama de greseificação do resíduo o ponto de menor absorção do mesmo, todas as absorções das composições ficaram abaixo do padrão.

Figura 27 – Traçado gráfico da absorção de água das formulações.

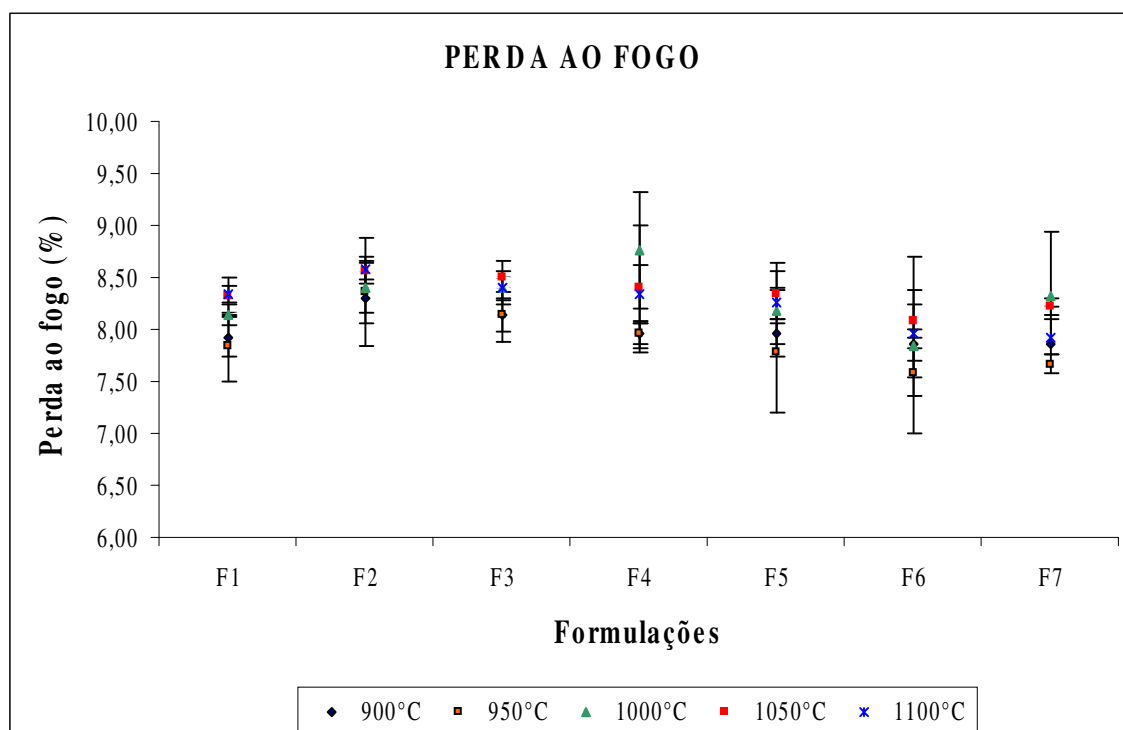


Fonte: dados do autor

5.2.2.5 Perda ao fogo

Na análise da perda ao fogo, observa-se no gráfico da Figura 28 uma certa estabilidade em relação a este resultado já que a amplitude máxima verificada entre todos os resultados nas diversas temperaturas foi 0,66%. Mesmo assim observa-se uma tendência de diminuição deste parâmetro com a inserção do resíduo sólido à formulação, devido a provavelmente a menor presença de matéria-orgânica, neste material quando relacionado a composição da massa de tijolo.

Figura 28 – Traçado gráfico da perda ao fogo das formulações.

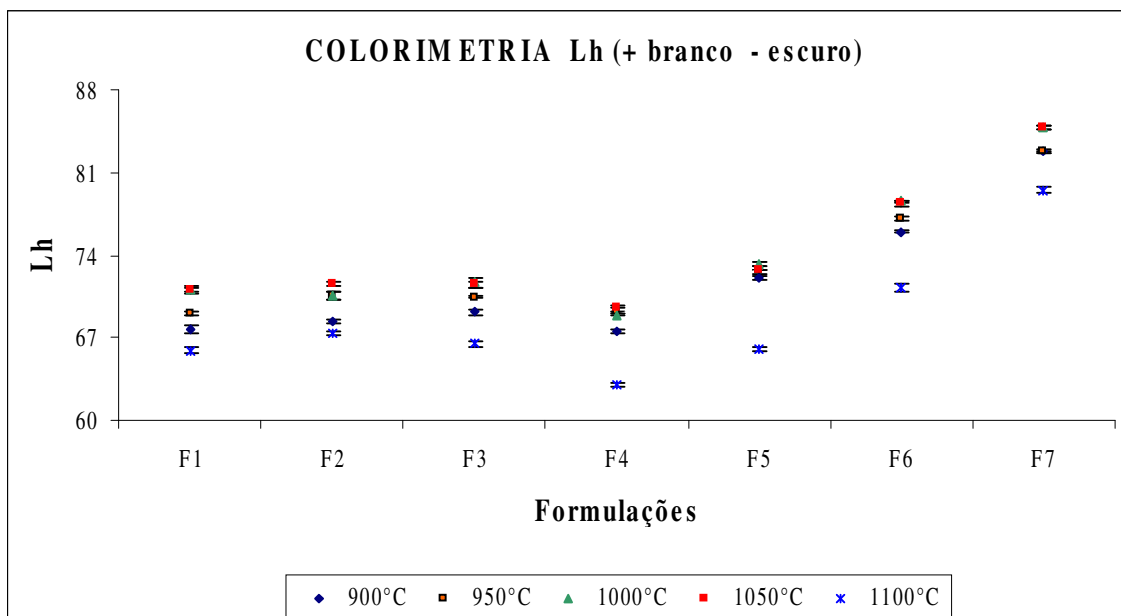


Fonte: dados do autor

5.2.2.6 Colorimetria

Na análise das coordenadas colorimétricas das composições observamos ao decorrer dos gráficos das Figuras 29, 30 e 31, que as maiores alterações nas cores do produto estão a partir da formulação 5. Sendo que até a formulação 4 existe a tendência de estabilização dos resultados. No gráfico da Figura 29, é demonstrada a coordenada Lh, que determina o quanto está mais claro ou escuro o substrato. Verifica-se a partir da formulação 5 a interferência da inserção do resíduo. As coordenadas das formulações anteriores saíram da faixa de 70 judd, e passaram para a faixa de 76 judd na formulação 5 e 84 judd na formulação 7.

Figura 29 – Coordenada colorimétrica Lh das diversas formulações.

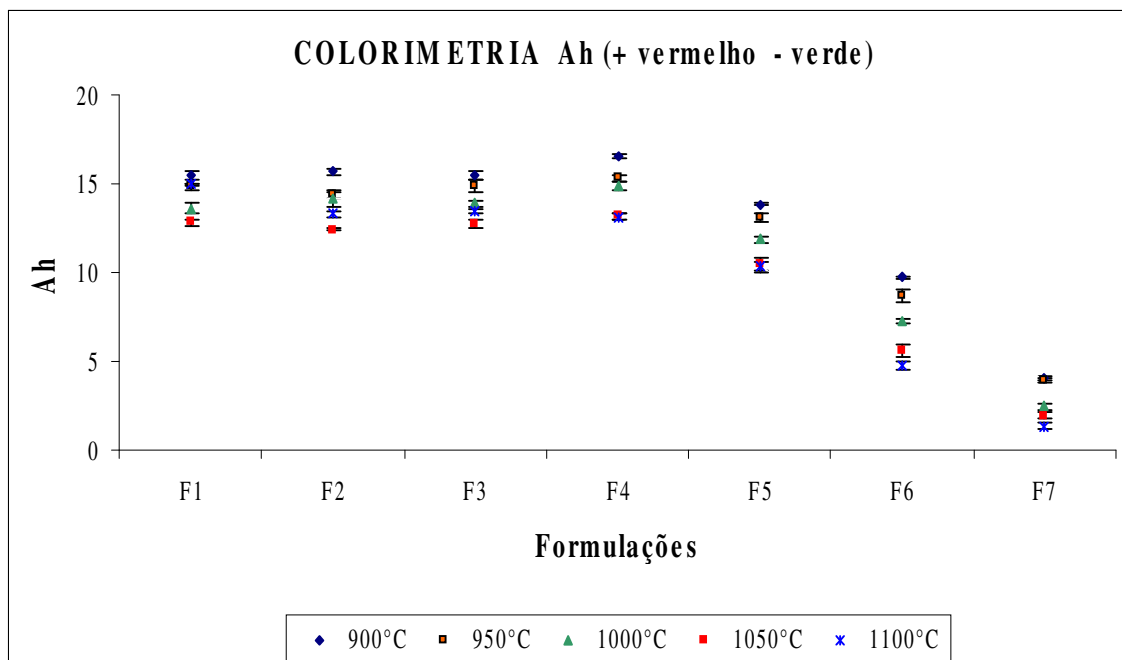


Fonte: dados do autor

No gráfico da Figura 30, é demonstrada a coordenada ah, que determina o quanto está mais vermelho ou mais verde o substrato. Verifica-se também a partir da formulação 5 a interferência da introdução de resíduo as formulações. As coordenadas das formulações anteriores saíram da faixa de 15 judd, ou seja estavam mais vermelhas, e passaram para a faixa de 10 judd na formulação 5 e 2 judd na formulação 7. A presença do óxido ZrO_2 , e

menor conteúdo do óxido Fe_2O_3 , no resíduo é indicativo desta alteração de tonalidade destas duas coordenadas. Esta tendência ocorreu nas diversas temperaturas analisadas.

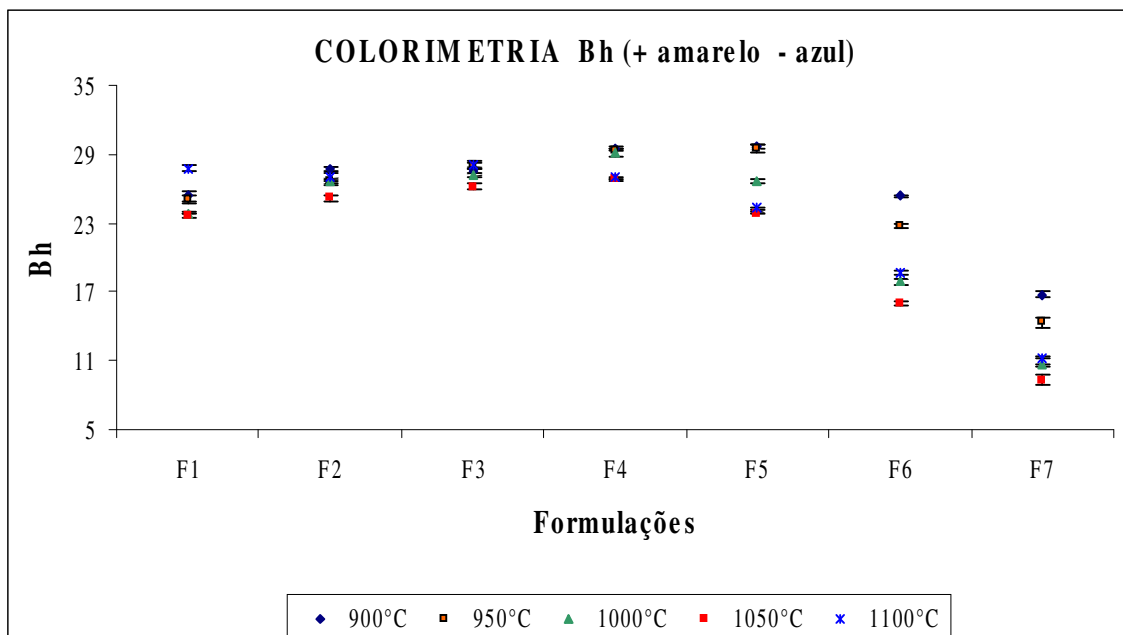
Figura 30 – Coordenada colorimétrica ah das diversas formulações.



Fonte: dados do autor

No gráfico da Figura 31, é demonstrada a coordenada bh, que determina o quanto está mais amarelo ou mais azul o substrato. A formulação 5 também é o divisor na avaliação desta coordenada. Os valores das formulações anteriores saíram da faixa de 28 judd, ou seja estavam mais amarelas, e passaram para a faixa de 25 judd na formulação 5 e 10 judd na formulação 7. A presença do óxido ZrO_2 , e menor conteúdo do óxido TiO_2 , no resíduo é indicativo da alteração de tonalidade desta coordenada. Esta tendência ocorreu em todas as temperaturas analisadas.

Figura 31 – Coordenada colorimétrica bh das diversas formulações.

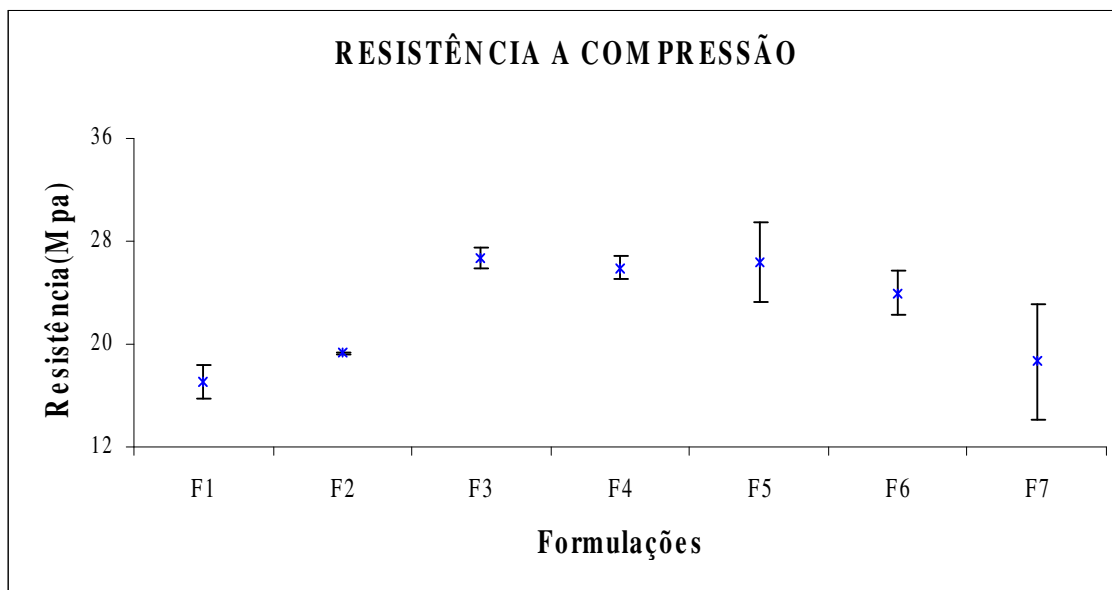


Fonte: dados do autor

5.2.2.7 Resistência à compressão

Os resultados de resistência à compressão são analisados através do gráfico da Figura 32. Os resultados são referentes a todas as formulações, queimadas na temperatura de 1000° C. Observa-se nesta temperatura a tendência de um aumento da resistência à compressão de todas as formulações em relação à formulação F1. Na formulação F1 a resistência a compressão aferida foi de 17,08 Mpa. Na formulação F2 o valor evoluiu para 19,28 Mpa. As formulações 3,4 e 5 apresentaram a média de resistência à compressão de 26 Mpa. A formulação 6 e 7 apresentaram valores decrescentes em relação a estas porém os valores ficaram respectivamente em 24,0 Mpa e 18,64 Mpa. Ou seja, são valores acima da formulação padrão.

Figura 32 – Traçado gráfico da resistência a compressão das formulações a temperatura de 1000 ° C.

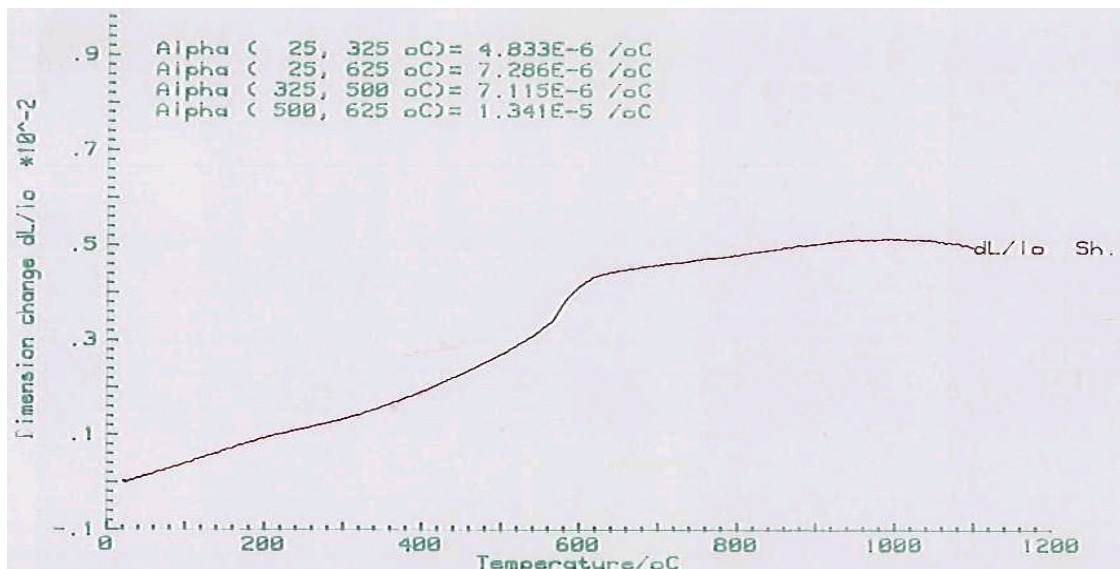


Fonte: dados do autor

5.2.2.8 Dilatação térmica linear

Na Figura 33 apresentam-se a curva de análise térmica linear da formulação F1. A faixa analisada foi de 25 ° C a 325 ° C. A dilatação do material nesta faixa de temperatura foi de $48,33 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$. De 540 ° C a 640 ° C ocorreu um leveamento de volume devido a transformação do quartzo α para quartzo β . De 800 ° C a 1100 ° C ocorreu uma pequena dilatação devido a provável formação da metacaulinita. Esta análise é a mesma da massa de tijolo, já que a formulação padrão, e a massa de tijolo referem-se ao mesmo material.

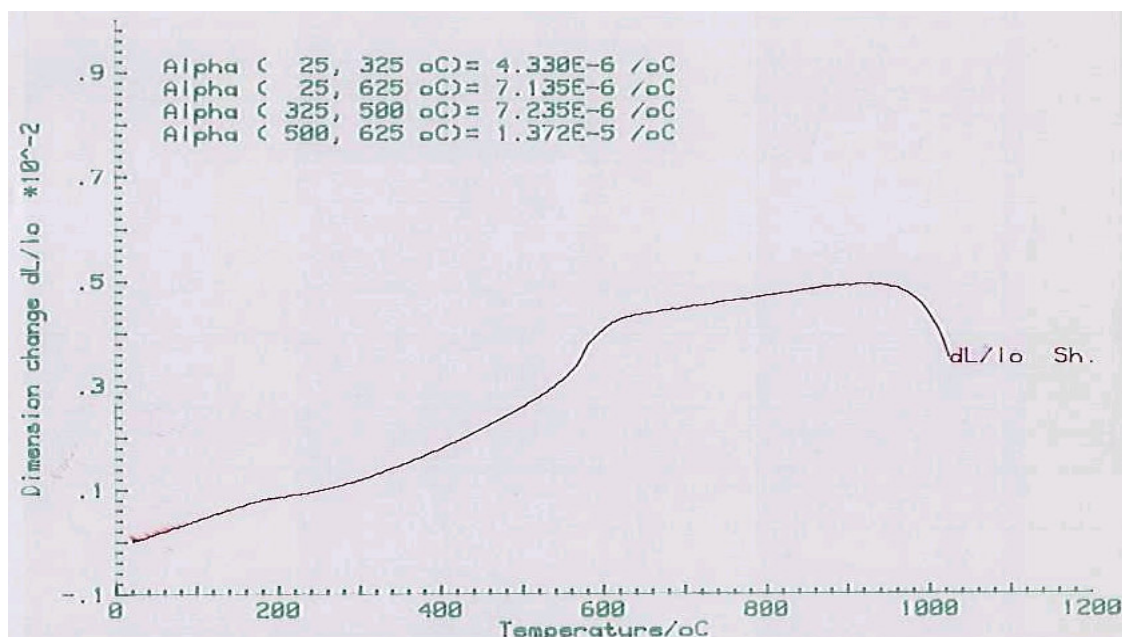
Figura 33 –Análise térmica linear da formulação F1, queimada na temperatura de 1000 ° C



Fonte: dados do autor

Na Figura 34, apresenta-se a curva de análise térmica linear da formulação F2. A faixa analisada foi de 25 ° C a 325 ° C. A dilatação do material nesta faixa de temperatura foi de $43,30 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$. De 580 ° C a 610 ° C ocorreu um leve aumento de volume devido a transformação do quartzo α para quartzo β . De 920 ° C a 1100 ° C ocorreu uma maior retração da amostra devido a provável destruição da metacaulinita, que passa para uma fase do tipo espinélio com a separação de sílica amorfa. Existem evidências, portanto que o material ajuda na formação de espinélio, que é o precursor da mulita.

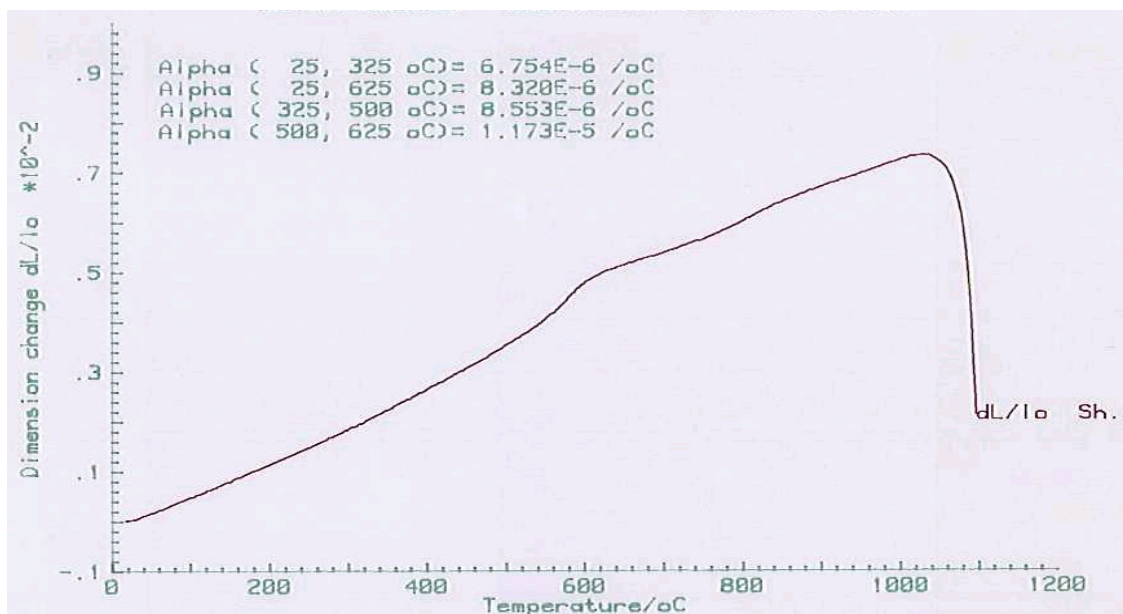
Figura 34 –Análise térmica linear da formulação F2, queimada na temperatura de 1000 ° C



Fonte: dados do autor

Na Figura 35, apresentam-se a curva de análise térmica linear da formulação extrema F7. A faixa analisada foi de 25 ° C a 325 ° C. A dilatação do material nesta faixa de temperatura foi de $64,48 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$. De 580 ° C a 620 ° C ocorreu um leve aumento de volume devido a transformação do quartzo α para quartzo β . De 980 ° C a 1100 ° C ocorreu uma maior retração da amostra devido a provável destruição da metacaulinita, que passa para uma fase do tipo espinélio com a separação de sílica amorfa. Nesta amostra a retração foi mais brusca indicando a tendência de maior formação do espinélio, formador da mulita.

Figura 35 –Análise térmica linear da formulação F7, queimada na temperatura de 1000 ° C

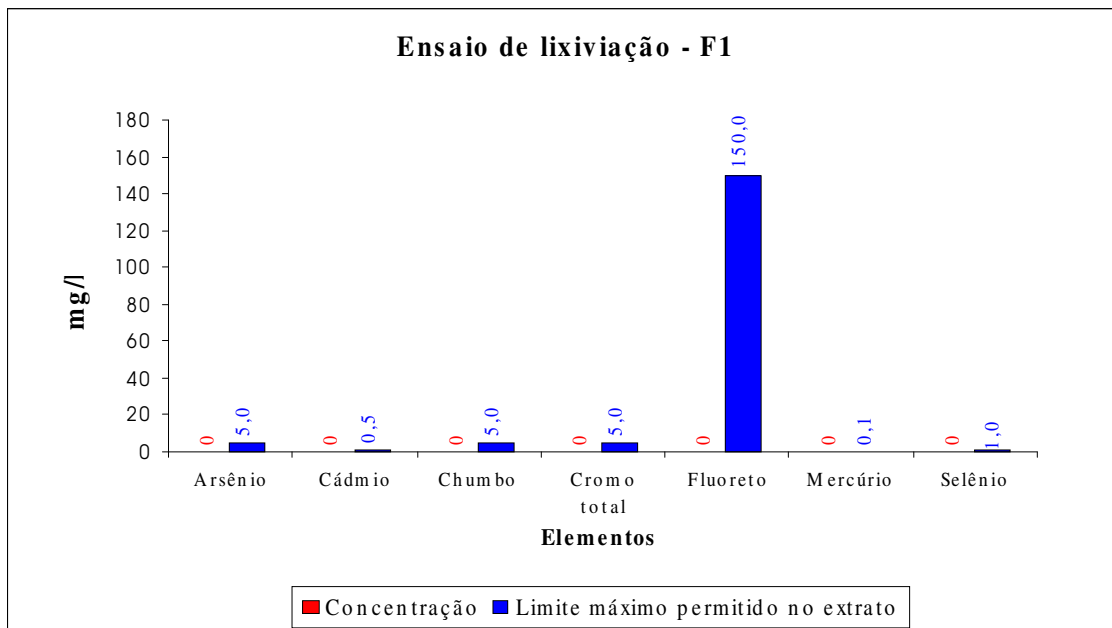


Fonte: dados do autor

5.2.2.9 Lixiviação e solubilidade

No teste de lixiviação realizado, conforme gráfico da Figura 36, a formulação F1 foi classificada como resíduo não perigoso, conforme NBR ISO 10004 ABNT, (1987) listagem número 7, indicando a necessidade de realização do ensaio de solubilização. Neste primeiro teste foram analisados sete elementos a fim de realizar-se nas formulações uma análise mais abrangente de seus elementos químicos componentes, já que aqui estávamos avaliando também a massa de tijolo, e poucas bibliografias e resultados são encontrados sobre este assunto. Nenhum dos elementos analisados foi detectado nos ensaios.

Figura 36: Ensaio de lixiviação da formulação F1, queimada na temperatura de 1000 ° C

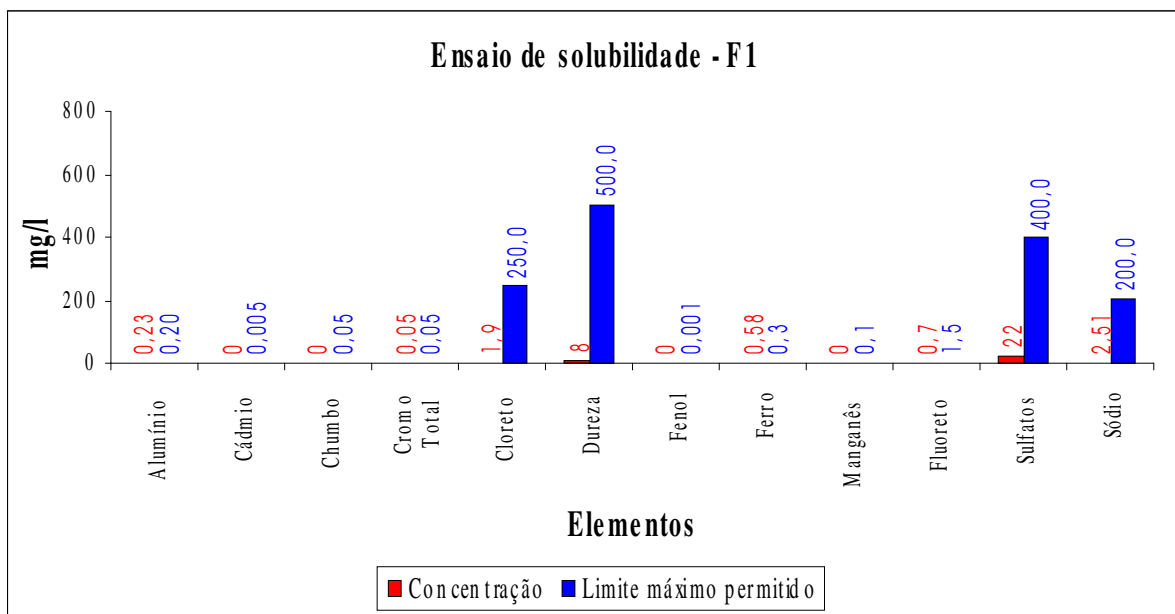


Fonte: dados do autor

No teste de solubilização realizado, conforme traçado gráfico da Figura 37, a formulação F1, que é a massa padrão do tijolo foi classificado como classe II (não-inerte), conforme NBR ISO 10004 (ABNT, 1987) listagem número 8. Neste teste foram analisados 12 elementos no sentido de realizar-se uma análise mais abrangente dos elementos componentes da formulação. Dentro deste enquadramento significa dizer-se o seguinte: Resíduo classe II – Engloba aquelas substâncias que podem apresentar solubilidade em água, combustibilidade e biodegradabilidade. Os parâmetros que enquadraram a formulação nesta classificação, foram os valores de concentração de alumínio 0,23 mg/L, e ferro com a concentração de 0,58 mg/L. Estes resultados ficaram acima do padrão estabelecido pela norma, muito provavelmente devido as argilas utilizadas na composição. Conforme SANTOS, (1989) argilas para a fabricação de tijolos devem ser moldadas facilmente e geralmente costumam apresentar a cor de queima avermelhada na temperatura de fabricação do produto, que fica usualmente na faixa que vai entre 900 ° C e 1000° C. São normalmente de origem sedimentar, ou seja, das

margens de rios e várzeas. Sendo que é comum também apresentarem elevados teores de ferro divalente, o que pode causar retração excessiva, diminuição da faixa de vitrificação, além de colorações indesejáveis. Estas argilas sedimentares são depositadas normalmente em depósitos na forma de bolsões, circundadas lateralmente por materiais arenosos. Os bolsões comumente produzem argilas de granulometria fina e de elevada plasticidade. Por sua formação ser efetuada através de sedimentos geralmente apresentam certo conteúdo de matéria orgânica, além de composições químicas bastante diferenciadas. O resultado também vem de encontro ao que NOVARA et al (Cerâmica Informação jan/fev 2003 n° 23), recomenda para o uso do descarte de cerâmicas estruturais, aos quais fazem-se necessário o teste prévio de liberação que garanta a ausência de poluentes.

Figura 37: Ensaio de solubilidade da formulação F1, queimada na temperatura de 1000 ° C

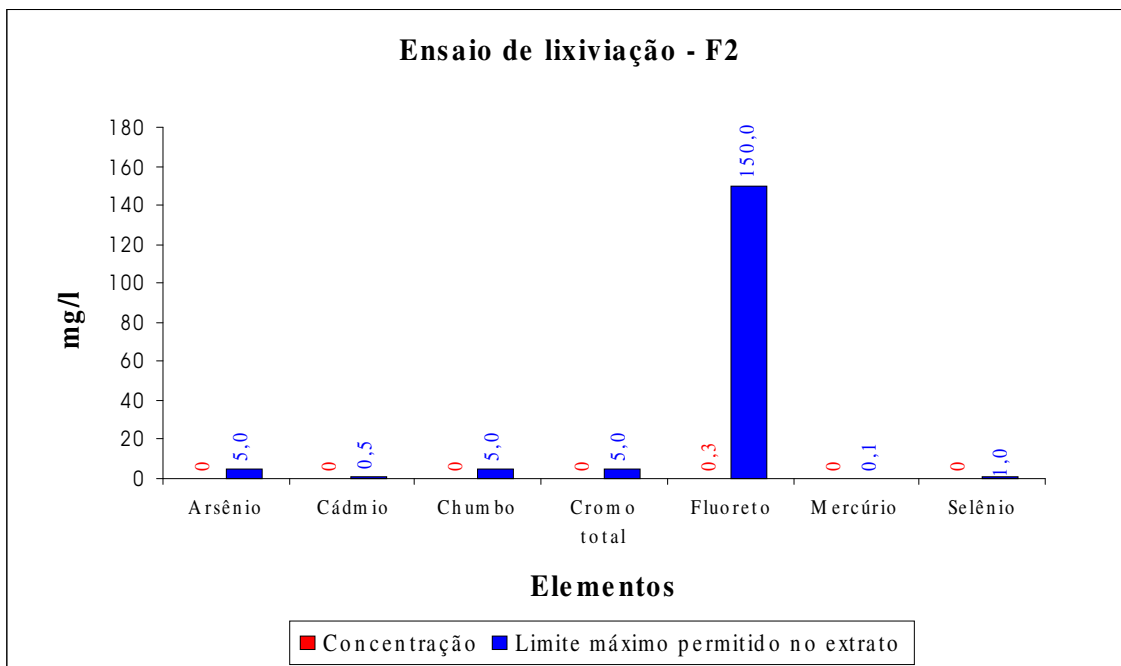


Fonte: dados do autor

No teste de lixiviação realizado, conforme gráfico da Figura 38, a formulação F2 foi classificada como resíduo não perigoso, conforme NBR ISO 10004 ABNT, (1987) listagem número 7, indicando a necessidade da realização do ensaio de solubilização. Neste

primeiro teste foram analisados sete elementos, sendo que apenas o íon fluoreto foi evidenciado na amostragem, e mesmo assim muito abaixo do valor permitido por norma.

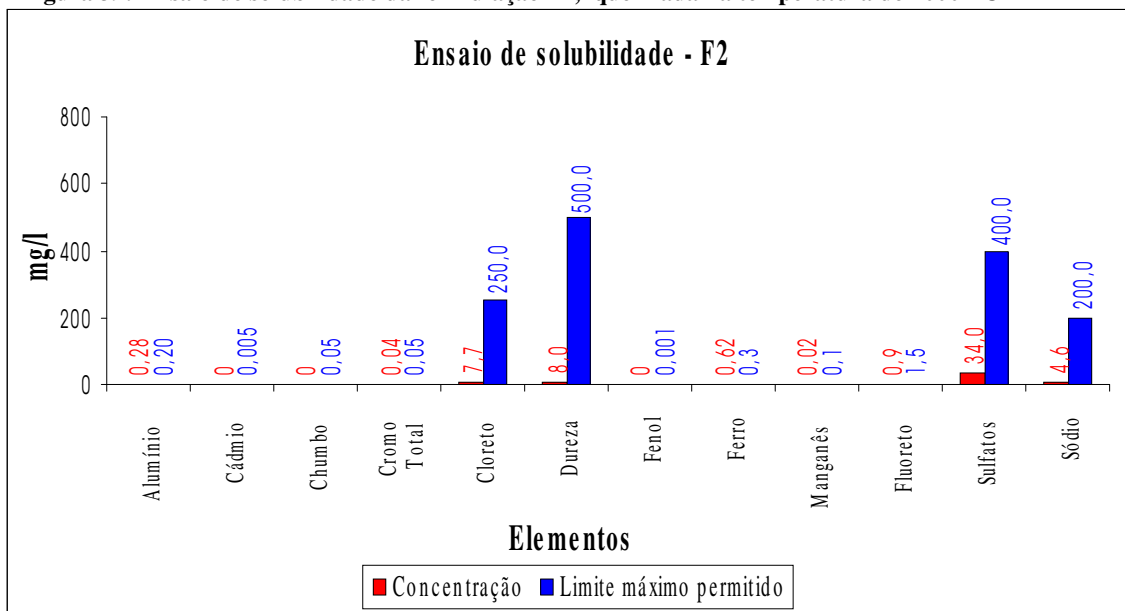
Figura 38: Ensaio de lixiviação da formulação F2, queimada na temperatura de 1000 ° C



Fonte: dados do autor

No teste de solubilização realizado, conforme traçado gráfico da Figura 39, a formulação F2, foi classificada também como resíduo classe II (não-inerte), conforme NBR ISO 10004 ABNT, (1987) listagem número 8. Neste teste foram analisados 12 elementos. Os parâmetros que enquadraram a formulação nesta classificação, foram os valores de concentração de alumínio 0,28 mg/L, e ferro com a concentração de 0,62 mg/L. Estes resultados ficaram acima do padrão estabelecido pela norma. Apesar de uma pequena evolução destes dois parâmetros não houve um acréscimo significativo nos teores dos outros elementos químicos.

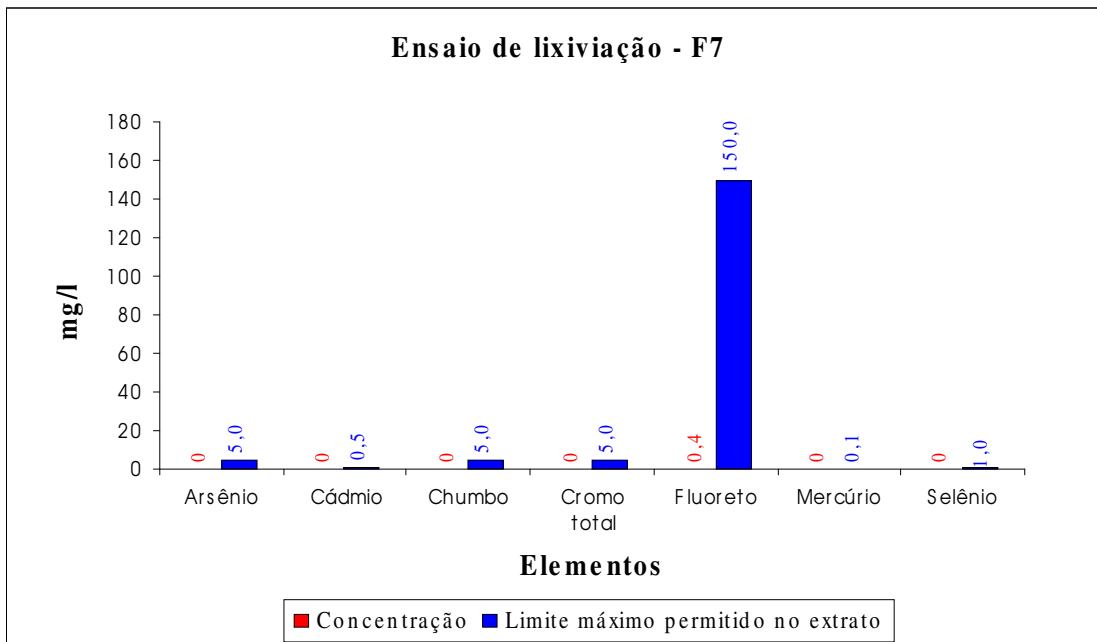
Figura 39: Ensaio de solubilidade da formulação F2, queimada na temperatura de 1000 ° C



Fonte: dados do autor

No teste de lixiviação realizado, conforme traçado gráfico da Figura 40, a formulação F7 foi classificada como resíduo não perigoso, conforme NBR ISO 10004 ABNT, (1987) listagem número 7, indicando a necessidade de realização do ensaio de solubilização. Neste primeiro teste foram analisados sete elementos sendo que apenas o íon fluoreto foi evidenciado na amostragem, e mesmo assim, muito abaixo do valor permitido por norma, e muito próximo da formulação F2 mesmo tendo esta composição 70% de resíduo incorporado.

Figura 40: Ensaio de lixiviação da formulação F7, queimada na temperatura de 1000 ° C

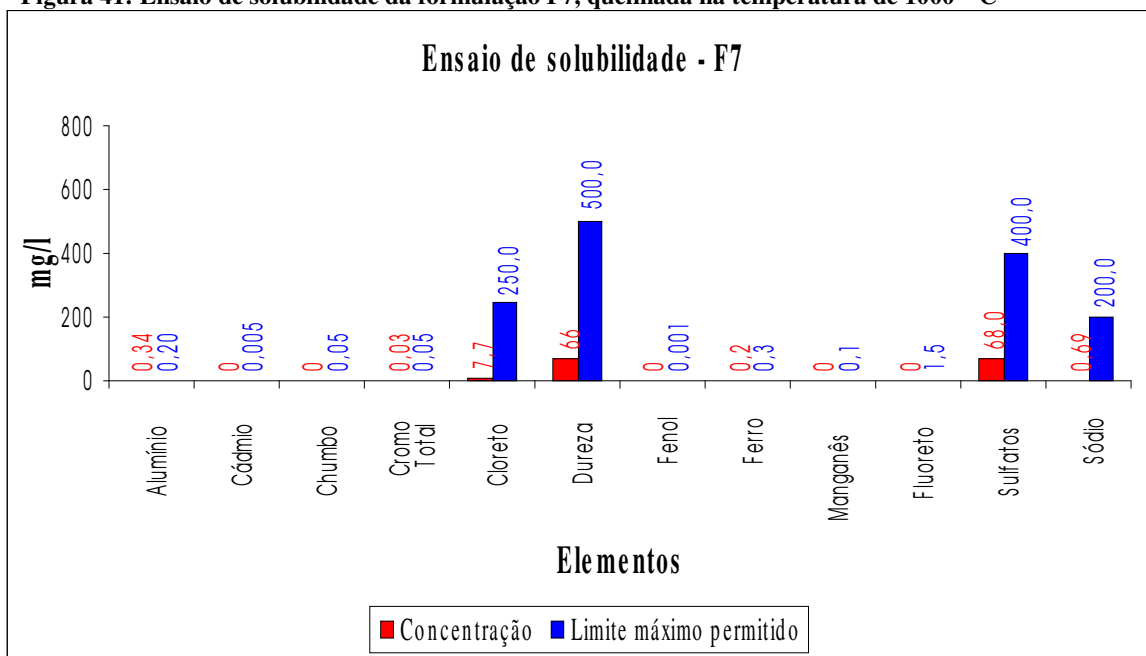


Fonte: dados do autor

No teste de solubilização realizado, conforme traçado gráfico da Figura 41, por sua vez, a formulação F7 foi classificada também como resíduo classe II (não-inerte), conforme NBR ISO 10004 ABNT, (1987) listagem número 8. Neste teste foram analisados 12 elementos. O parâmetro que enquadrou a formulação nesta classificação, foi o valor de concentração de alumínio 0,34 mg/L. Apesar de uma pequena evolução deste parâmetros em relação a formulação 1 e formulação 2, um ponto muito importante foi a comprovação que com a adição de resíduo neste percentual (70%) o elemento ferro ficou dentro dos limites estabelecidos por norma. O teor de cloretos permaneceu o mesmo que a formulação 2, e a dureza apresentou um acréscimo quando relacionada com a formulação F1 e F2. Porém continuou dentro dos limites estabelecidos por norma. O outro ponto a ser salientado com a formulação F7, são que os índices de manganês e fluoreto não foram detectados na amostragem, indicando uma melhora nos indicadores deste ensaio para esta formulação. Outra observação é em relação à concentração de sulfatos que apesar de ter aumentado na

formulação F2 e F7, ficou dentro dos valores estabelecidos por norma com boa margem de segurança.

Figura 41: Ensaio de solubilidade da formulação F7, queimada na temperatura de 1000 ° C



Fonte: dados do autor

5.2.2.10 Difração de raio - X

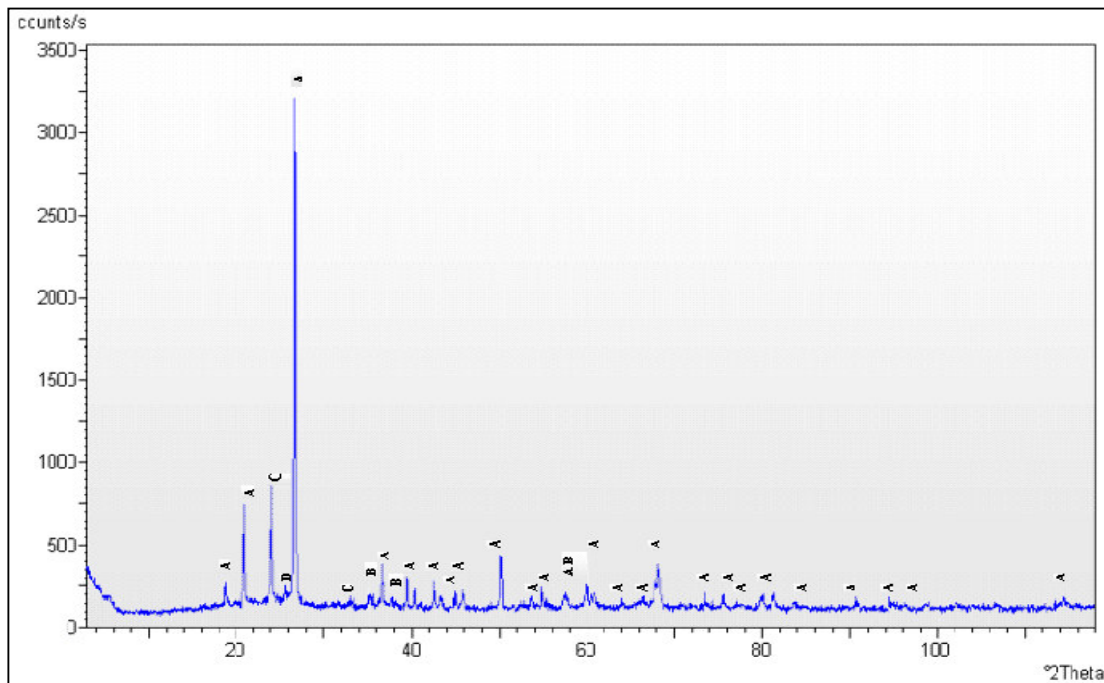
A análise de difração de raio - X identificou as fases por comparação de um perfil desconhecido com o conjunto de difração padrão coletado e mantido pelo JCPDS – (Joint Committee on Powder Diffraction Standards). Abaixo no gráfico da Figura 42, é demonstrado as fases encontradas na formulação F1.

A- SiO_2 - Quartzo - placa JCPDS 05-0490

B- Al_2O_3 - Alumina - placa JCPDS 10-0173

C- $\text{Ca}_2\text{FeO}_{3,5}$ - Óxido de ferro-cálcio – placa JCPDS 38-0508

Figura 42: Difração de raio – X da formulação F1, queimada na temperatura de 1000° C.



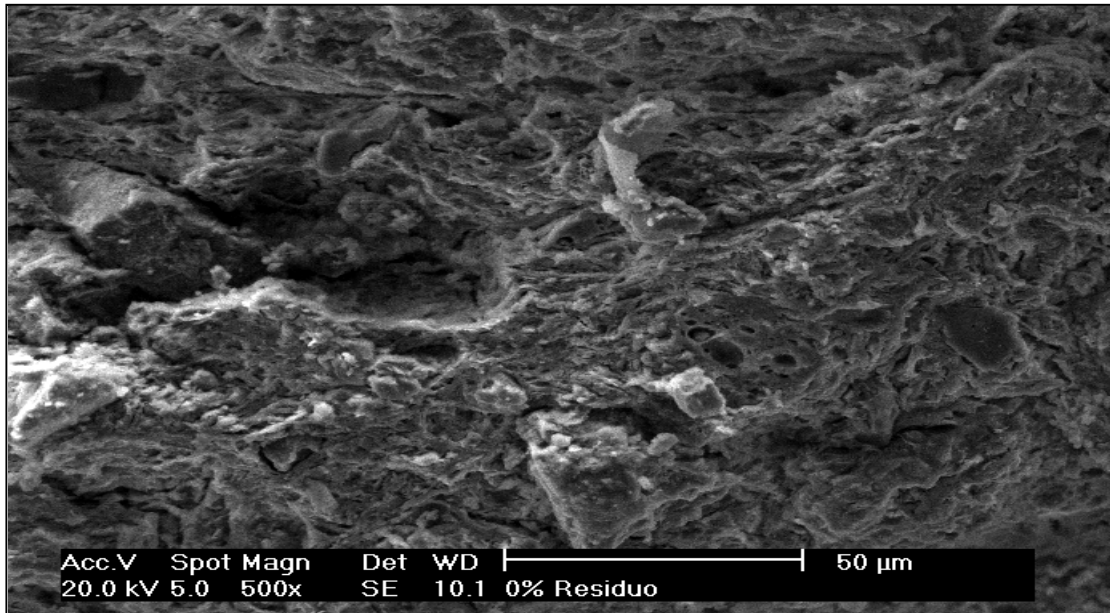
Fonte: dados do autor

Na formulação F2 e F7 as fases formadas foram idênticas à formulação F1, sendo que não apareceram fases a base de óxido de Na_2O e K_2O , que poderiam advir da composição do resíduo.

5.2.2.11 Mev

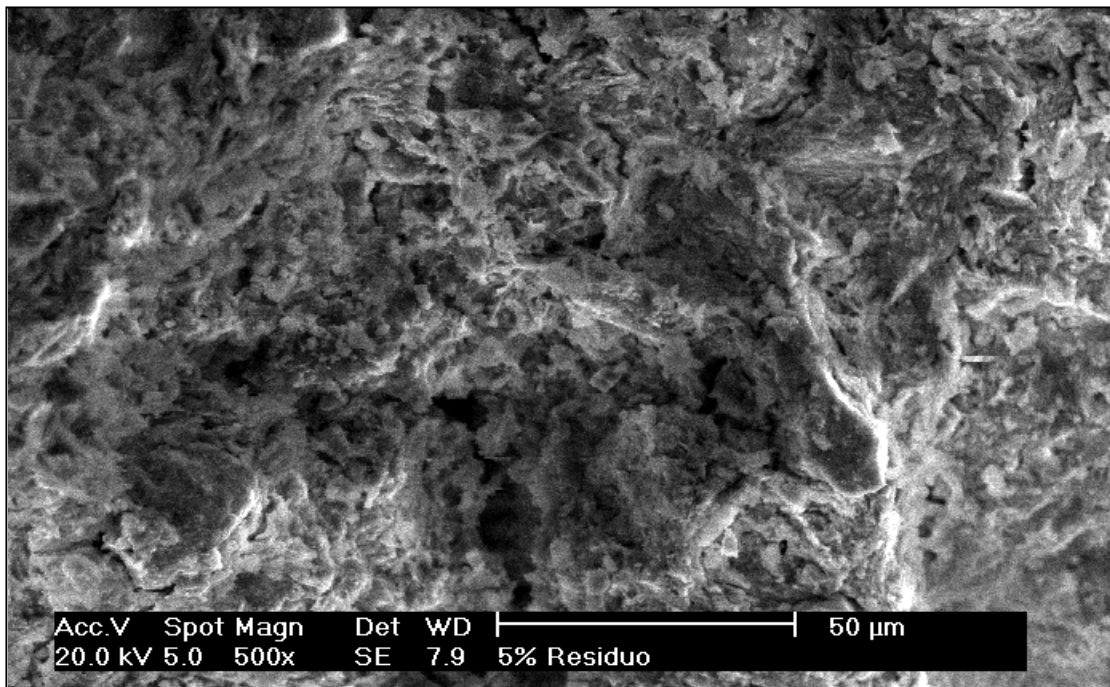
As micrografias apresentadas nas Figuras 43, 44 e 45 correspondem as formulações F1, F2, e F7 na sua região de fratura, queimadas na temperatura de 1000 ° C. O aumento efetuado, para análise das amostras no equipamento, foi de 500 vezes.

Figura 43: Microscopia eletrônica da formulação F1, queimada na temperatura de 1000° C.



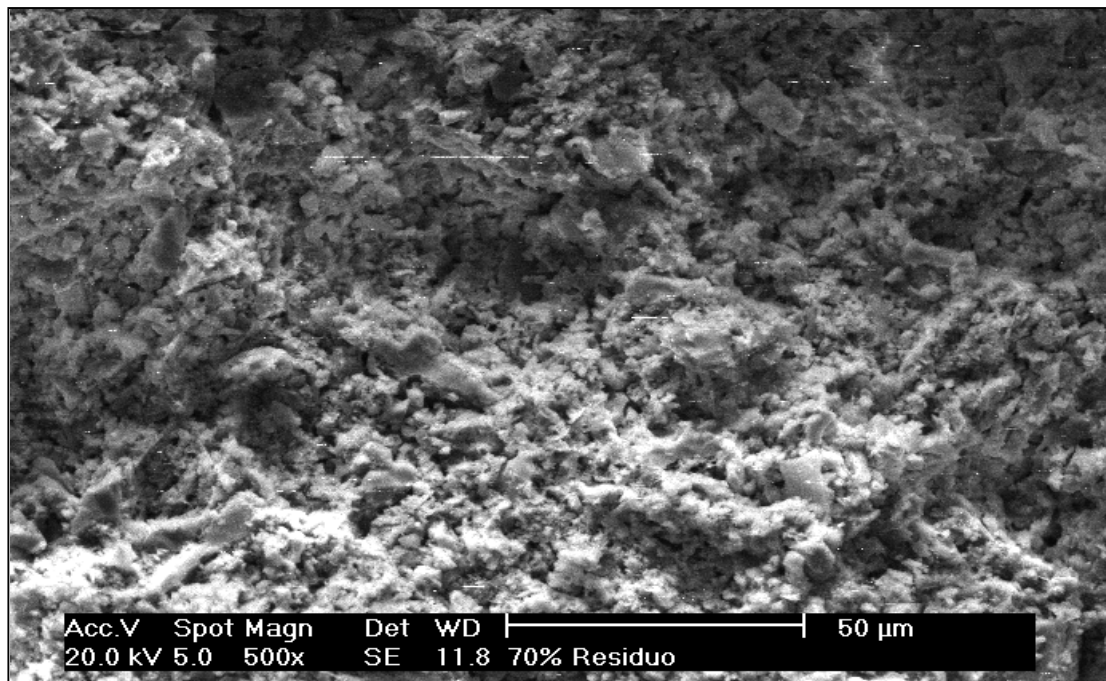
Fonte: dados do autor

Figura 44: Microscopia eletrônica da formulação F2, queimada na temperatura de 1000° C.



Fonte: dados do autor

Figura 45: Microscopia eletrônica da formulação F7, queimada na temperatura de 1000° C.



Fonte: dados do autor

As imagens na sua região de fratura, apresentam como a massa de tijolo com e sem a adição de resíduo em sua estrutura.

5.3 Análise de Custos

Finalmente no sentido de demonstrar a viabilidade econômica do trabalho apresenta-se na Tabela 5, uma estimativa do quanto a empresa em questão gasta com a geração deste resíduo, além do impacto ambiental proporcionado pelo seu descarte. Demonstra-se também o quanto é possível economizar em uma fábrica cerâmica vermelha estrutural, com a utilização de até 5% de resíduo na composição. Vale-se salientar, que em utilizando-se este resíduo, um menor impacto ambiental será gerado tanto para a área de aterro licenciado, como na menor degradação da área de extração de argila, pois existe com o reaproveitamento um menor consumo.

Tabela 5: Análise de custos da geração dos resíduos sólidos e reaproveitamento na cerâmica estrutural.

| | |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Empresa Geradora | 10 descargas/dia de resíduo |
| | 1946 Kg seco/ descarga |
| | 25 % umidade |
| | 19,46 Ton seca/dia |
| | 584 ton seca/mês |
| | 7008 Ton seca/ano |
| | Destino - aterro |
| Custos Associados (Fretes e máquinas) | 2 caminhões/dia |
| | Frete R\$/caminhão - R\$ 35,12 |
| | Frete R\$/dia - 70,24 |
| | Frete R\$/mês - 2.107,02 |
| | Frete R\$/ Ano - 25.286,40 |
| | Custos máquinas/ Ano - R\$ 4.000,00 |
| | Custo Total = R\$ 29.286,40 |
| Fábrica de cerâmica vermelha - Incorporadora | Resíduo R\$/Ton - R\$ 0,00 |
| | Argila R\$/Ton - R\$ 1,00 |
| | 1 Ton = 500 Tijolos |
| | 40000 Tijolos/ dia |
| | 1.200.000 Tijolos/mês |
| | 80 Ton de argila/dia |
| | 2400 Ton de argila/ mês |
| | 5% de reaproveitamento = 4 Ton resíduo/dia |
| | Mês = Menos 120 Ton de argila extraída |
| | Ano = Menos 1440 Ton de argila extraída |
| | Economia na massa = R\$ 120,00/ mês |
| | Economia na massa = R\$ 1440,00/ ano |
| | Economia máquinas(extração) = R\$ 80,00/h |
| | Economia máquinas(extração) = R\$ 640,00/dia |
| Economia máquinas(extração) = R\$ 1280,00/mês | |
| Economia total estimada ano = R\$ 16.800,00 | |

Fonte: dados do autor

Observação:

O custo de máquinas relativo ao resíduo, diz respeito à manutenção e adequado armazenamento do resíduo no aterro licenciado.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi analisado o efeito da incorporação do resíduo proveniente estação de tratamento de efluentes de uma indústria cerâmica de gres porcellanato na massa de cerâmica estrutural, em escala laboratorial. Dentre os ensaios realizados nas várias etapas do trabalho pode-se ressaltar:

Os ensaios de caracterização do resíduo o classificaram como classe II não-inerte. A partir desta análise, e quando introduzido à massa de tijolo, atuou na formulação como matéria-prima interessante a composição até o percentual de 5% de incorporação. Pode-se comprovar este fato já nos ensaios realizados a seco em que a resistência mecânica do material aumentou, com bons valores de densidade aparente, o que facilita ainda mais o seu manuseio. Acima deste valor estas características declinaram. Os resultados com o produto queimado demonstraram que as características de retração de queima, colorimetria, dilatação térmica, perda ao fogo praticamente não alteraram-se, e as características de resistência mecânica à queimado, absorção de água, densidade aparente a queimado, resistência a compressão evoluíram. Os ensaios de lixiviação e solubilidade demonstraram também da possibilidade de incorporação deste resíduo quando adicionado a formulação de tijolo, já que dentre os parâmetros observados não ocorreram maiores distorções em relação aos valores da norma e aos valores da própria formulação padrão.

Existe também a possibilidade de economia por parte da empresa geradora deste resíduo, caso efetue todo o reaproveitamento deste material na ordem de R\$ 29.286,40/ano. A fábrica de cerâmica vermelha estrutural também pode beneficiar-se com uma redução de seus custos na ordem de R\$ 16.800,00/ano. O fator mais positivo, porém estará no fato de propiciar um melhor destino para este material, indo de encontro aos princípios da ISO 14001, que

prevê como principal bandeira à melhoria contínua dos indicadores ambientais de uma empresa, e conseqüentemente melhoria da qualidade de vida das pessoas em seu entorno e região.

Mostra-se, portanto com este trabalho um caminho para efetivação de políticas ambientais por parte das empresas e da própria sociedade. Um momento de análise para que futuras gerações possam incorporar em seus conceitos e culturas, as práticas de melhor preservação de nosso meio ambiente e políticas de desenvolvimento sustentável.

7 SUGESTÕES

Como continuidade a este trabalho, sugerem-se os seguintes temas de pesquisa:

- ⊗ Estudar comportamento da adição deste resíduo, em outras massas cerâmicas como o cotto e refratários;
- ⊗ Realização da análise de gases na atmosfera do forno quando da utilização deste resíduo;
- ⊗ Efetivação de seu uso em escala industrial;
- ⊗ Otimização das características das argilas a serem usadas na fabricação de tijolos, para que não torne o próprio tijolo um resíduo classe II.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABC, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Cerâmica estrutural e de revestimento**. Panorama. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br>>. Acesso em: 12 Março 2005.

ABC, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Apostila sobre matérias primas**. Curso de formulação de massa. Blumenau, Santa Catarina, 1994.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Placas cerâmicas para revestimento, terminologia: NBR ISO 13816**. Rio de Janeiro, 1997. 4 p.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Placas cerâmicas para revestimento, especificação e métodos de ensaios: NBR ISO 13818**. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos, classificação: NBR ISO 10004**. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Lixiviação de Resíduos, procedimento: NBR ISO 10005**. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solubilização de Resíduos, procedimento: NBR ISO 10006**. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostragem de resíduos, procedimento: NBR ISO 10007**. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistemas de gestão ambiental, especificação e diretrizes para uso: NBR ISO 14001**. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco cerâmico para alvenaria: NBR ISO 7171**. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco cerâmico para alvenaria – Formas e dimensões: NBR ISO 8042**. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resistência à compressão: NBR ISO 6242**. Rio de Janeiro, 2001.

ACIMAC. Associazione costruttori italiani macchine attrezzature per cerâmica. **Curso de formação para técnicos da indústria de cerâmica vermelha**. Brasil, 2000

AGENDA 21. Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento: 3ª.ed. Brasília: Senado Federal, 2001. 598 p

ALVES, F. **O que esta sendo feito com os resíduos industriais**. Revista Saneamento ambiental, São Paulo, n. 54, nov/dez 1999 p. 16-24 out.

ANFACER, ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA. **Perspectivas. Revestimentos Cerâmicos** . Disponível em:<<http://www.anfacer.org.br>>. Acesso em 20 Março 2005.

ANTONIUS, P.A.J. **A exploração dos recursos naturais face à sustentabilidade e gestão ambiental**: Uma reflexão teórico conceitual. Belém(PA) NAEA, 1999.

BARBA, A. et al. **Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas**. 1ed. Castellón: Instituto de Tecnología Cerámica – AICE, 1997. p.17-248.

BIFF, Giovanni. **IL Gres Porcellanato**. 1ª ed. Faenza: Faenza Editrice, 1997.p. 25-50.

BLASCO, A. et al. **Adición de fangos reciclados a composiciones de pavimentos y revestimientos cerâmicos(I)**. Revista Técnica Cerâmica, n. 195, p. 471-483, (1990).

BLASCO, A. et al. **Adición de fangos reciclados a composiciones de pavimentos y revestimientos cerâmicos (II)**. Revista Técnica Cerâmica, n. 196, p. 578-585, (1990).

BLASCO, A. et al. **Tratamiento de emisiones gaseosas, efluentes líquidos e residuos sólidos de la industria cerâmica**. Castellón: Instituto de Tecnología Cerâmica/Universitat Jaume, (1987).

BRASIL. Decreto n. 14250, de 05 de junho de 1981. **Regulamenta dispositivos da lei nº 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à proteção e a melhoria da qualidade ambiental**. Lex Ambiental: Coletânea de Legislação e jurisprudência, Rio de Janeiro, mai., 2002. Legislação Federal.

BRASIL. Lei n. 1413, de 14 de agosto de 1975. **Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais**. Lex Ambiental: Coletânea de Legislação e jurisprudência, Rio de Janeiro, mai., 2002. Legislação Federal.

BRASIL. Lei n. 9605, de 12 de fevereiro de 1998. **Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente**. Lex Ambiental: Coletânea de Legislação e jurisprudência, Rio de Janeiro, mai., 2002. Legislação Federal.

BRASIL. Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação**. Lex Ambiental: Coletânea de Legislação e jurisprudência, Rio de Janeiro, mai., 2002. Legislação Federal.

BRASIL. MINTER. **Dispõe sobre o destino e tratamento de resíduos. Portaria n. 53, de 1 de março de 1979**. Lex Ambiental: Coletânea de Legislação e jurisprudência, Rio de Janeiro, mai., 2002. Legislação Federal.

BRASIL. Portaria interministerial MMA nº 3, de 1 de janeiro de 1997. **Institui o programa de qualidade ambiental , e incentiva as empresas a adotarem ISO 14001.** Lex Ambiental: Coletânea de Legislação e jurisprudência, Rio de Janeiro, mai., 2002. Legislação Federal.

BRASIL. **Constituição da república federativa do Brasil – capítulo IV:** 5 de outubro de 1988. 17 ed. São Paulo: Atlas, 2001, 389 p.

COSIN, S. et al. **Incorporação de lodo de tratamento de água a massa cerâmica.** In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 46. Revestimentos cerâmicos. São Paulo, 2002. CD-ROM.

COSTA, M. **Resíduos sólidos; os caminhos para resolver o problema.** Revista Banas Ambiental. São Paulo, n. 06, p. 14-18, abr. 2000.

DONAIRE, Denis. **Gestão Ambiental na Empresa.** São Paulo: Atlas 1995.

ELIANE REVESTIMENTOS CERÂMICOS. **Manual da Assistência Técnica.** Processo de fabricação de revestimento cerâmico. Santa Catarina, 1999.

ELIANE REVESTIMENTOS CERÂMICOS. **Procedimento e Instrução de Trabalho.** Manual da qualidade. Santa Catarina, 2005.

FERRO ENAMEL ESPANHOLA. Informativo Colour Division. Castellon, Espanha. 1990.

FERNANDES, et al. **Reaproveitamento do lodo da estação de tratamento de efluentes de uma indústria cerâmica.** 2002. 90f. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

LABRINCHA, et al. **Production of Al-rich sludge-containing ceramic bodies by different shaping techniques.** Journal of Materials Processing Technology 148 (2004) p. 139-146.

MARTINS, Eliseu e LUCA, Márcia Maria Mendes de. **Ecologia via contabilidade.** Revista Brasileira de Contabilidade. Brasília número 86, mar/abr., p. 20-29, 1994.

NEVES, G.A. et al. **Utilização de Resíduos da Serragem de Granitos para Confeção de Tijolos Cerâmicos.** In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 44°, matérias primas, 006. São Paulo, 2000. CD-ROM.

NOVARA, et al. **O aproveitamento dos descartes industriais gerados pela cerâmica estrutural.** Revista Cerâmica Informação, n. 26, jan/fev 2003 p. 39-42.

NUNES JR, M. L. **Aplicação da metodologia de produção limpa em uma pequena empresa de laticínios.** 2002. 112f.. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

OLIVEIRA, João Hέλvio R. de. **Legislação ambiental aplicada às organizações.** Apostila. Doutorado UFSC, 2000.

POLIVANOV, et al. **O uso do resíduo do mármore e granito para indústria da cerâmica vermelha.** In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 46°, cerâmica vermelha. São Paulo, 2002. CD-ROM.

ROSA, F. G. **Estudo da viabilidade de obtenção de placas cerâmicas para revestimentos a partir de resíduos sólidos industriais e minerais.** 2002. 71f.. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SÁNCHEZ, et al. **Incorporation of granite waste in red ceramics**. Materials Science & Engineering. A 373 (2004) p. 115-121.

SANTA CATARINA. Lei n. 11.347, de 17 de janeiro de 2000. **Dispõe sobre a col recolhimento e o destino final de resíduos sólidos potencialmente perigosos que menciona, e adota outras providências**. Lex Ambiental: Coletânea de Legislação e jurisprudência, Rio de Janeiro, mai., 2002. Legislação Estadual. CD-ROM.

SANTA CATARINA. Lei n. 5.793, de 15 de outubro de 1980. **Dispõe sobre a proteção e melhoria da qualidade ambiental**. Lex Ambiental: Coletânea de Legislação e jurisprudência, Rio de Janeiro, mai., 2002. Legislação Estadual.

SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia de argilas**. 2^a ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. v. 1, 2, 3.

SINDICERAM, Sindicato das Indústrias Cerâmicas de Criciúma e Região Sul. **Histórico** . Disponível em:<<http://www.sindiceram.com.br>>. Acesso em 20 Março 2005.

SOUZA, Maria Tereza Saraiva de. **Rumo a prática empresarial sustentável**. Revista de Administração de Empresas. São Paulo, V.33, número 4, p. 40-52, jul/ago de 1993.

TORRES, et al. **Incorporation of granite cutting sludge in industrial porcelain tile formulations**. Journal of the European Ceramic Society. 24 (2004) p. 3177-3185.

VAN VLACK, L. H. **Propriedades dos Materiais Cerâmicos**. 1. ed. Rio de Janeiro, 1973.

XAVIER, G.C.; et al. **Estudo da adição de resíduos da serragem do mármore à massa de conformação de cerâmica vermelha**. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 45°, revestimentos cerâmicos, 004. Santa Catarina, 2001. CD-ROM.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)