UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA –DEM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS - PGCEM

Formação: Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO OBTIDA POR

Jaisson Potrich dos Reis

Incorporação de resíduos industriais em massa cerâmica usada na fabricação de tijolos

Apresentada em 30/03/2007. Perante a Banca Examinadora:
Dra. Marilena Valadares Folgueras - Presidente (UDESC)
Dr. Dachamir Hotza (UFSC)
Dr. Masahiro Tomiyama (UDESC)
Dr. Enori Gemelli (UDESC)

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC

CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA - DEM

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA

E ENGENHARIA DE MATERIAIS – PGCEM

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Mestrando: JAISSON POTRICH DOS REIS – Engenheiro Químico

Orientador: Profa. Dra. MARILENA VALADARES FOLGUERAS

CCT/UDESC – JOINVILLE

Incorporação de resíduos industriais em massa cerâmica usada na fabricação de tijolos

DISSERTAÇÃO APRESENTADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS DA UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT, ORIENTADA PELA PROFa. DRa. MARILENA VALADARES FLOJERAS

Joinville

2007

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC

CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT

COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO - CPG

" Incorporação de resíduos industriais em massa cerâmica usada na fabricação de tijolos "

por

Jaisson Potrich dos Reis

Essa dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

na área de concentração "**Cerâmica**", e aprovada em sua forma final pelo

CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

DO CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA

Banca Examinadora:

Dra. Marilena Valadares Folgueras
(presidente)

Dr. Dachamir Hotza

Dr. Enori Gemelli

Dr. Masahiro Tomiyama

FICHA CATALOGRÁFICA

NOME: REIS, Jaisson Potrich.
DATA DEFESA: 30/03/2007
LOCAL: Joinville, CCT/UDESC
NÍVEL: Mestrado Número de ordem: **73** – CCT/UDESC
FORMAÇÃO: Ciência e Engenharia de Materiais **ÁREA DE CONCENTRAÇÃO**: Cerâmica
TÍTULO: Incorporação de resíduos industriais em massa cerâmica usada na fabricação de tijolos. **PALAVRAS - CHAVE**: Cerâmica Vermelha, Incorporação, Resíduos Industriais. **NÚMERO DE PÁGINAS: 86**
CENTRO/UNIVERSIDADE: Centro de Ciências Tecnológicas da UDESC
PROGRAMA: Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - PGCEM
CADASTRO CAPES: 4100201001P-9
ORIENTADOR: Dra. Marilena Valadares Folgueras
PRESIDENTE DA BANCA: Dra. Marilena Valadares Folgueras **MEMBROS DA BANCA**: Dr. Dachamir Hotza, Dr. Masahiro Tomiyama, Dr. Enori Gemelli.

A minha esposa Luana, que me ajudou incansavelmente em todos os momentos desta pesquisa. À minha mãe Lúcia, e meu pai Luiz Carlos que sempre me ajudaram e proporcionaram as condições necessárias para que eu chegasse até aqui. E ao meu irmão Rafael, que sempre me incentivou a continuar estudando na área de engenharia.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado a vida.

À Professora Marilena Valadares Folgueras que, como orientadora, ofereceu todas as condições necessárias para a realização desta pesquisa

À Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC e ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - PGCEM pela realização do presente trabalho.

Ao Centro de Ciências Tecnológicas e ao Departamento de Engenharia Mecânica pela infraestrutura oferecida.

À todas empresas que cederam os resíduos necessários para a realização deste trabalho.

À CAPES pela bolsa de pesquisa cedida durante estes dois anos de pesquisa.

Aos professores Masahiro, Enori, Cesar e Nelson Carmargo do Curso de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, pela contribuição significativa para a realização desse trabalho e na construção dos meus conhecimentos.

Á todos aqueles que mesmo indiretamente deram alguma contribuição para a realização desta pesquisa.

Ao bolsista de iniciação científica e amigo Murilo, que ajudou nos ensaios e testes realizados, levando muito a sério o meu trabalho, como se fosse o seu trabalho.

Ao bolsista Toniel, parceiro de incansáveis horas de laboratório, compactando e quebrando meus corpos-de-prova.

Ao bolsista Celso, que realizou os ensaios de análise térmica.

Às bolsistas Carla e Olívia, responsáveis pela difração de raio-x.

A minha tia e professora de português Maria Lourdes pela ajuda na correção.

Aos meus sogros Ana Maria e Donato, pelo apoio afetivo.

Ao meu irmão Rafael e grande amigo, que contribuiu fortemente para o andamento deste trabalho.

Aos meus pais Lúcia e Luiz pelo apoio financeiro durante todos esses anos e pelos ensinamentos de caráter, dignidade, honestidade, educação e amor incondicional. Amo muito vocês. Vocês sempre serão meus verdadeiros heróis.

A minha esposa Luana, que conheci quando iniciei o mestrado e hoje está presente em todos os momentos da minha vida sempre me ajudando, incentivando e fazendo com que eu me torne um homem cada vez melhor. Te amo muito minha manezinha da ilha.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 4
2.1 - MERCADO DE CERAMICA VERMELHA 4
2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TIJOLOS 5
2.2.1 - RECEBIMENTO, BENEFICIAMENTO E FORMULAÇÃO DA MASSA CERÂMICA 7
2.2.2 - PROCESSO DE LAMINAÇÃO E CONFORMAÇÃO 7
2.2.3 - PROCESSO DE SECAGEM 8
2.2.4 - PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO 8
2.3 - PROPRIEDADES DOS MATERIAIS CERAMICOS 9
2.4 - USO DE MATERIAIS-PRIMAS ALTERNATIVAS EM CERAMICA 9
2.5 - INCORPORAÇÃO DE SUBPRODUTOS INDUSTRIAIS EM CERAMICA VERMELHA 10
2.5.1- ESCÓRIA DE ALTO-FORNO 11
2.5.2 – RESÍDUOS SÓLIDOS DAS INDÚSTRIAS DE REVESTIMENTO CERÂMICO 13
2.5.3 - VIDRO 15
MATERIAIS E MÉTODOS 21
3.1 - MATERIAIS 21
3.1.1 ARGILAS 21
3.1.2- RESÍDUOS 21
3.2 - METODOS 22
3.2.1- BENEFICIAMENTO DOS MATERIAIS 22
3.2.2 - CARACTERIZAÇÃO DAS ARGILAS 23
3.2.3 - CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS 24

3.2.4 - ESTUDO PRELIMINAR 24
3.2.5 -DESENVOLVIMENTO DAS FORMULAÇÕES E PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA 26
3.2.6 SINTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO FINAL DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS 26
3.2.7 ANÁLISE MICROESTRUTURAL 27
3.2.8 – QUANTIFICAÇÃO DOS GASES EMITIDOS NA SINTERIZAÇÃO 27
RESULTADOS E DISCUSSÕES 28
4.1 - CARACTERIZAÇÃO QUIMICA 28
4.1.1 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS ARGILAS 28
4.1.2 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS RESÍDUOS 30
4.2 - CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA 31
4.2.1 -CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DAS ARGILAS 31
4.2.2 -CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DOS RESÍDUOS 33
4.3 - CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA 38
4.3.1 CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DAS ARGILAS 38
4.3.2 CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DOS RESÍDUOS 40
4.4 - AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS 44
4.4.1 RETRAÇÃO LINEAR E ABSORÇÃO DE ÁGUA 45
4.4.2 DENSIDADE APARENTE E TENSÃO DE RUPTURA 50
4.5 - ANÁLISE MICROESTRUTURAL 56
4.6 - QUANTIFICAÇÃO DOS GASES EMITIDOS DURANTE A SINTERIZAÇÃO 59
4.6.1 MONÓXIDO DE CARBONO 59
4.6.2 DIÓXIDO DE CARBONO 60
4.6.3 METANO 61
4.6.4 MONÓXIDO DE NITROGÊNIO 62
4.6.5 DIÓXIDO DE ENXOFRE 63
CONCLUSÃO 64
SUGESTÕES 66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 67

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - FLUXOGRAMA DE FABRICAÇÃO DE TIJOLOS E TELHAS. [ABCERAM, 2005]. 06

FIGURA 3.1 - FLUXOGRAMA REPRESENTATIVO DA SEQUENCIA DE ETAPAS ENVOLVIDAS NO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO. 23

FIGURA 4.1 - DIFRATOGRAMA DA ARGILA D. 32
FIGURA 4.2 - DIFRATOGRAMA DA ARGILA H. 32
FIGURA 4.3 - DIFRATOGRAMA DO RESÍDUO 1 (EAF). 34
FIGURA 4.4 - DIFRATOGRAMA DO RESÍDUO 2 (LP). 34
FIGURA 4.5 - DIFRATOGRAMA DO RESÍDUO 3 (V). 36
FIGURA 4.6 - FIGURA DIFRATOGRAMA DO RESÍDUO 4 (LE). 37
FIGURA 4.7 - DIFRATOGRAMA DO RESÍDUO 5 (M). 37
FIGURA 4.8 - CURVA DE ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DAS ARGILAS D E H. 39
FIGURA 4.9 - CURVA DA ATD DAS ARGILAS D E H. 39
FIGURA 4.10 - CURVA DE ATD E TG DA EAF COM ATMOSFERA OXIDANTE. 40
FIGURA 4.11 - CURVA DE ATD E TG DA EAF COM ATMOSFERA INERTE. 41
FIGURA 4.12 - CURVA DE ATD E TG DA LP. 42
FIGURA 4.13 - CURVA DE ATD E TG DO V. 42
FIGURA 4.14 - CURVA DE ATD E TG DA LE. 43
FIGURA 4.15 - CURVA DE ATD E TG DA M. 44
FIGURA 4.16 - CURVAS DE GRESIFICAÇÃO **A)** ARGILA D PURA; **B)** ARGILA D + 10% DA EAF; 46
FIGURA 4.17 - CURVAS DE GRESIFICAÇÃO **A)** ARGILA D PURA; **B)** ARGILA D + 10% DA LP; 47
FIGURA 4.18 - CURVAS DE GRESIFICAÇÃO **A)** ARGILA D PURA; **B)** ARGILA D + 10% DO V; **C)** ARGILA D + 20% DO V E **D)** ARGILA D +30% DO V. 48

FIGURA 4.19 - CURVAS DE GRESIFICAÇÃO **A)** ARGILA D PURA; **B)** ARGILA D + 10% DA M; 50
FIGURA 4.20 - DENSIDADE APARENTE E TENSÃO DE RUPTURA DA **A)** ARGILA D PURA; **B)** ARGILA D + 10% DA EAF; **C)** ARGILA D + 20% DA EAF E **D)** ARGILA D +30% DA EAF..... 51
FIGURA 4.21 - DENSIDADE APARENTE E TENSÃO DE RUPTURA DA **A)** ARGILA D PURA; **B)** ARGILA D + 10% DA LP; **C)** ARGILA D + 20% DA LP E **D)** ARGILA D +30% DA LP. 52
FIGURA 4.22 - DENSIDADE APARENTE E TENSÃO DE RUPTURA DA **A)** ARGILA D PURA; **B)** ARGILA D + 10% DO V; **C)** ARGILA D + 20% DO V E **D)** ARGILA D +30% DO V. 54
FIGURA 4.23 - DENSIDADE APARENTE E TENSÃO DE RUPTURA DA **A)** ARGILA D PURA; **B)** ARGILA D + 10% DA M; **C)** ARGILA D + 20% DA M E **D)** ARGILA D +30% DA M. 55
FIGURA 4.24 - MICROGRAFIA DA: A) ARGILA D, B) ARGILA D + 10% DA EAF, C) ARGILA D + 10% DA LP, D) ARGILA D + 10% DO V, E) ARGILA D + 10% DA M. 57
FIGURA 4.25 - LIBERAÇÃO DO GÁS CO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE QUEIMA. 60
FIGURA 4.26 - LIBERAÇÃO DO GÁS CO_2 EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE QUEIMA. 61
FIGURA 4.27 - LIBERAÇÃO DO GÁS CH_4 EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE QUEIMA. 62
FIGURA 4.28 - LIBERAÇÃO DO GÁS NO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE QUEIMA. 63

INDICE DE TABELAS

TABELA 2.1: ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DOS PRINCIPAIS PRODUTOS DA CERÂMICA VERMELHA. (ABCERAM, 2005 ADAPTADO). 5
TABELA 2.2: ANÁLISE QUÍMICA DE DIFERENTES ESCÓRIAS DE ALTO-FORNO.[FOLGUERAS, 2001ADAPTADO]. 11
TABELA 2.3: COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE DIFERENTES TIPOS DE VIDRO [VAN VLACK, 1973]. 17
TABELA 2.4: FUNÇÃO QUE DESEMPENHAM ALGUNS ELEMENTOS QUÍMICOS NA ESTRUTURA DO VIDRO COM OS RESPECTIVOS VALORES DE ELETRONEGATIVIDADE (STANWORTH, 1950). 18
TABELA 2.5- COMPOSIÇÃO DO VIDRO USADA..... 20

TABELA 4.1 - ANÁLISE QUÍMICA DAS ARGILAS (% EM PESO). 28
TABELA 4.2 - ANÁLISE QUÍMICA DOS RESÍDUOS (% EM PESO). 30
TABELA 4.3 - ANÁLISE RACIONAL DAS ARGILAS D E H (% EM PESO) 33
TABELA 4.4 - ANÁLISE POR MICROSSONDA DA ARGILA D E COM 10% DO RESÍDUO 1, 2, 3 E 5. 56

LISTA DE SIGLAS

ABCERAM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA

ANICER - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDUSTRIA CERÂMICA

ANFACER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE REVESTIMETOS CERÂMICOS

CEMPRE – CENTRO EMPRESARIAL DE RESÍDUOS

COSIPA – COMPANHIA SIDERURGICA PAULISTA

EAF – ESCÓRIA DE ALTO-FORNO

IBS – INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA

LCFIS - LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS FISÍCAS

LE – LAMA DA ELIANE

LP – LAMA DA PORTOBELLO

M – MISTURA DO RESÍDUO 1 E DO RESÍDUO 3

NBR – NORMAS BRASILEIRAS

PIB - PRODUTO INTERNO BRUTO

V – VIDRO

UENEF – UNIVERSIDADE ESTADUAL NORTE FLUMINENSE

RESUMO

A incorporação de resíduos industriais em cerâmica vermelha está sendo muito usada nos últimos anos. A caracterização destes resíduos é uma ferramenta indispensável para que se consiga resultados confiáveis e se conheça tecnicamente o resíduo estudado juntamente com a avaliação das propriedades tecnológicas dos tijolos fabricados.

O objetivo deste trabalho foi estudar a viabilidade de incorporação de quatro resíduos industriais em uma massa cerâmica que é freqüentemente utilizada na fabricação de tijolos. Os resíduos adicionados foram: resíduo de escória de alto-forno, resíduo da indústria cerâmica de revestimento e da indústria de reciclagem de vidros. A reutilização destes subprodutos industriais pode favorecer a redução da temperatura de sinterização, fornecendo uma melhor qualidade final do produto. Sendo assim diminuirá custos de produção e também dará um destino ecologicamente correto a esses resíduos.

O desenvolvimento do trabalho considerou a caracterização química, mineralógica e térmica das argilas e dos resíduos. Foram avaliadas algumas propriedades tecnológicas como a absorção de água, retração linear, densidade aparente e tensão de ruptura dos materiais produzidos e também foi realizada a quantificação de gases emitidos durante a etapa de sinterização e a análise microestrutural de algumas misturas.

Os resultados obtidos mostraram que a incorporação dessas matérias-primas alternativas foi satisfatória, pois a avaliação das propriedades tecnológicas apresentou melhores resultados quando foram incorporados os resíduos estudados na argila D.

Dentre todos os resíduos utilizados para incorporação, o vidro foi aquele que apresentou melhores resultados. A absorção de água com 30% de incorporação deste resíduo na temperatura de 1100°C chegou a 11%, enquanto que a retração linear foi de 5,5% e a tensão de ruptura foi de 7,5 MPa comparados com argila sem incorporação de resíduo.

Palavras-chave: Tijolos, resíduos industriais, propriedades tecnológicas e meio ambiente

ABSTRACT

The incorporation of industrial wastes into red ceramics has been largely used in the past few years. The characterizing of these residues is an essential tool to obtain reliable results and to technically know the wastes to be researched together with the evaluation of the technological properties of the manufactured bricks.

The objective of this work was study the viability of incorporation of four industrial wastes in a ceramic mass that is frequently used in the manufacture of bricks. The added wastes has been: waste of blast furnace slag, waste of the two ceramics covering industry and the industry of recycling of glass. The reuse of these industrial by-products might favor a decrease in the sintering temperature, providing a better finish quality on the product, reducing costs and also giving by-products an ecological viable alternative.

The developing of this research took into consideration the chemical, mineralogical and thermal characterization of the clays and of the residues. Some technological properties had been evaluated as the water absorption, linear retraction, apparent density and breaking strength of the produced materials and also was executed the quantification of gases emitted during the stage of sintering and the microstructural analysis of some mixtures.

The gotten results had shown that the incorporation of these alternative raw materials was satisfactory, because the evaluation of the technological properties presented better resulted when the residues studied in clay D had been incorporated. Among all wastes studied, the glass presented better resulted. The water absorption with 30% of incorporation of this residue in the temperature of 1100°C arrived 11%, while the linear retraction was of 5,5% and rupture stress was of 7,5 MPa compared with clay without incorporation of waste.

Key-words: Bricks, incorporation of industrial wastes, technological properties and environment.

INTRODUÇÃO

A cerâmica vermelha, também conhecida como tradicional, é formada a partir da mistura de materiais argilosos e materiais não argilosos. A fabricação destes materiais é bem antiga e investigações arqueológicas realizadas até o momento indicam que os primeiros tijolos de barro foram fabricados por volta de 10.000 A.C. e eram utilizados pelas civilizações assíria e persa. Esses povos desenvolveram tijolos secos ao sol, conhecidos como adobes, e por volta de 3.000 A.C. surgiram os primeiros tijolos queimados em fornos [GRIMMER, 2006].

A telha cerâmica surgiu independentemente em duas partes do mundo: na China, por volta de 10.000 A.C. e no oriente médio pouco tempo depois. Sua utilização espalhou-se pela Europa e Ásia, persistindo até os dias atuais, sendo também levada à América através dos colonizadores europeus, onde foi largamente utilizada desde o século XVII [GRIMMER, 2006].

No Brasil, o uso de telhas cerâmicas e tijolos maciços ocorre desde o descobrimento. Inicialmente as telhas eram conformadas manualmente com mão-de-obra escrava. Tal registro pode ser constatado através de antigas peças que apresentam a forma da estrutura óssea humana. Porém somente na década de 30 foram fabricados os primeiros tijolos furados através de processos mecanizados [ANICER, 2000].

Atualmente o mercado de cerâmica vermelha possui uma representatividade expressiva na economia do país. A região sul apresenta mais de 3000 olarias, contribuindo significativamente para a produção nacional de tijolos e telhas [ABCERAM, 2005].

Os materiais cerâmicos podem ser usados em uma grande variedade de aplicações devido as suas excelentes propriedades. Suportam temperaturas elevadas, superiores a 1000°C, possuem boas propriedades químicas e mecânicas. A grande limitação do uso destes materiais é decorrente de sua acentuada fragilidade.

A grande produção nacional de telhas e tijolos consome um volume enorme de matérias-primas retiradas do meio ambiente. Essa retirada constante causa sérios danos ao meio ambiente e indiretamente ao ser humano. Atualmente existem vários processos alternativos que visam a substituição destas matérias-primas naturais por sub-produtos

industriais que diminuam o impacto ambiental causado pela extração diária de toneladas destas matérias-primas naturais.

Esta idéia de utilizar matérias-primas alternativas vem de encontro com os interesses de muitas indústrias que buscam um destino ecologicamente correto para seus subprodutos industriais. Todo esse trabalho de substituição dos componentes naturais e essenciais do processo de fabricação de tijolos e telhas pode ser associado à busca de alternativas para a melhoria em propriedades destes materiais, ou seja no desenvolvimento de novos produtos.

Neste contexto muitos estudos buscam melhorar as propriedades das peças cerâmicas produzidas com esta adição de resíduos industriais. Muitas vezes essa incorporação busca também a inertização dos resíduos que podem trazer riscos ao meio

1.1 - Objetivos

Esta pesquisa tem como objetivo principal desenvolver uma metodologia de caracterização e incorporação de resíduos industriais em massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos.

Foram traçadas algumas metas, ou seja, os objetivos específicos relacionados abaixo:

- ✓ Realizar a caracterização química, mineralógica e térmica de algumas argilas comerciais da região de Joinville usadas na fabricação de tijolos;
- ✓ Realizar a caracterização química, mineralógica e térmica dos resíduos industriais;
- ✓ Formular diferentes misturas contendo argilas e resíduos industriais em diversas proporções;
- ✓ Produzir corpos-de-prova para avaliar se esta incorporação aumenta as propriedades tecnológicas (absorção de água, retração linear, tensão de ruptura e densidade aparente) dos tijolos, bem como auxilia no processo de sinterização;
- ✓ Avaliar a absorção de água, retração linear, densidade aparente e tensão de ruptura dos corpos-de-prova produzidos.
- ✓ Realizar a análise microestrutural de algumas misturas propostas.
- ✓ Avaliar a emissão de gases poluentes, durante a etapa de sinterização.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A cerâmica estrutural, também conhecida por cerâmica vermelha, é uma subdivisão da grande área cerâmica. A classificação das subáreas na cerâmica é bem diversificada e varia de autor para autor. É um setor que absorve com grande facilidade a incorporação de materiais alternativos.

Esta incorporação tem como base a análise do mercado, do processo de fabricação, das propriedades dos produtos e das características dos subprodutos industriais utilizados como matéria-prima alternativa.

2.1 Mercado de cerâmica vermelha

A cerâmica vermelha apresenta representatividade expressiva na economia do país, movimentando aproximadamente 6 bilhões de reais ao ano, e isto significa aproximadamente 1% do produto interno bruto (PIB) [PASCHOAL, 2003]. Dentre os produtos fabricados por este setor, destacam-se os tijolos e as telhas, os quais têm grande aplicabilidade na construção civil.

Os produtos fabricados possuem elevadas propriedades térmicas, mecânicas e estéticas e ainda vale a pena ressaltar a grande vantagem de ser de fácil fabricação e com custo muito baixo, já que a matéria-prima utilizada se encontra em abundância na natureza.

O Brasil atualmente possui uma grande produção anual, tanto de tijolos e telhas, quanto de matéria-prima extraída da natureza. Isso pode ser comprovado pelos dados presentes na Tabela 2.1.

A região sul tem grande representatividade na produção de telhas e tijolos, já que nesta região existe o maior número de olarias. A produção de tijolos da região sudeste é elevada quando comparada às outras regiões, principalmente a região norte e centro oeste que possuem baixa quantidade de olarias.

O preço de um milheiro de tijolos de oito furos, segundo uma olaria da região de Joinville é de aproximadamente 150 reais, já o preço de um milheiro de uma telha varia de 400 a 700 reais, dependo do tipo de telha produzido. Essa diferença entre o valor agregado dos tijolos e os das telhas se deve a diversos fatores como: maior inspeção de qualidade na produção das telhas, equipamentos que empregam mais tecnologia e com isso deixam as telhas com melhores propriedades mecânicas, por ser colocada no telhado das casas e

edifícios as telhas precisam ter a característica de ser impermeável e possuir propriedades estéticas superiores aos tijolos que são geralmente usados na construção de paredes e ficarão cobertos por outros materiais da construção civil.

Tabela 2.1: Estimativa da produção dos principais produtos da cerâmica vermelha. (ABCERAM, 2005 Adaptado).

Região	N° de olarias	Tijolos/mês x(1000)	Telhas/mês X(1000)	Massa (ton/mês)	Mat.prima Ton/mês
Sudeste	1.530	940.000	100.000	2.309.000	3.065.000
Sul	3.250	535.000	65.000	1.318.000	1.647.000
Nordeste	1.360	389.000	155.000	1.051.000	1.306.000
Centro oeste	460	122.000	50.000	387.000	483.000
Norte	260	118.000	15.000	282.000	354.000
Total	6860	2.104.000	385.000	5.347.000	6.855.000

Nesta pesquisa será dada ênfase na produção de tijolos, já que as argilas utilizadas, são argilas comerciais de olarias da região de Joinville-SC, freqüentemente usadas para a fabricação de tijolos.

2.2- Processo de fabricação de tijolos

A maior parte das olarias é de gestão familiar e rudimentar, isto é, o conhecimento foi adquirido pelos fundadores destas pequenas empresas e foi passado de pai para filho, ao longo de várias décadas de atividade. Nestas empresas as principais matérias-primas naturais são de baixo custo e não devem ser submetidas a processos ou condições que influenciem neste custo como o transporte e qualquer etapa de armazenamento ou beneficiamento. Desta forma as olarias, em geral se concentram próximas às fontes naturais de materiais [GRUN *et al*, 2005].

A produção de tijolos é muito semelhante ao das telhas, já que não apresenta diferença significativa quanto ao método utilizado para a fabricação de tais materiais. Desta forma, a Figura 2.1 representa o fluxograma de fabricação de tijolos e telhas usados por diversas olarias presentes no território brasileiro.

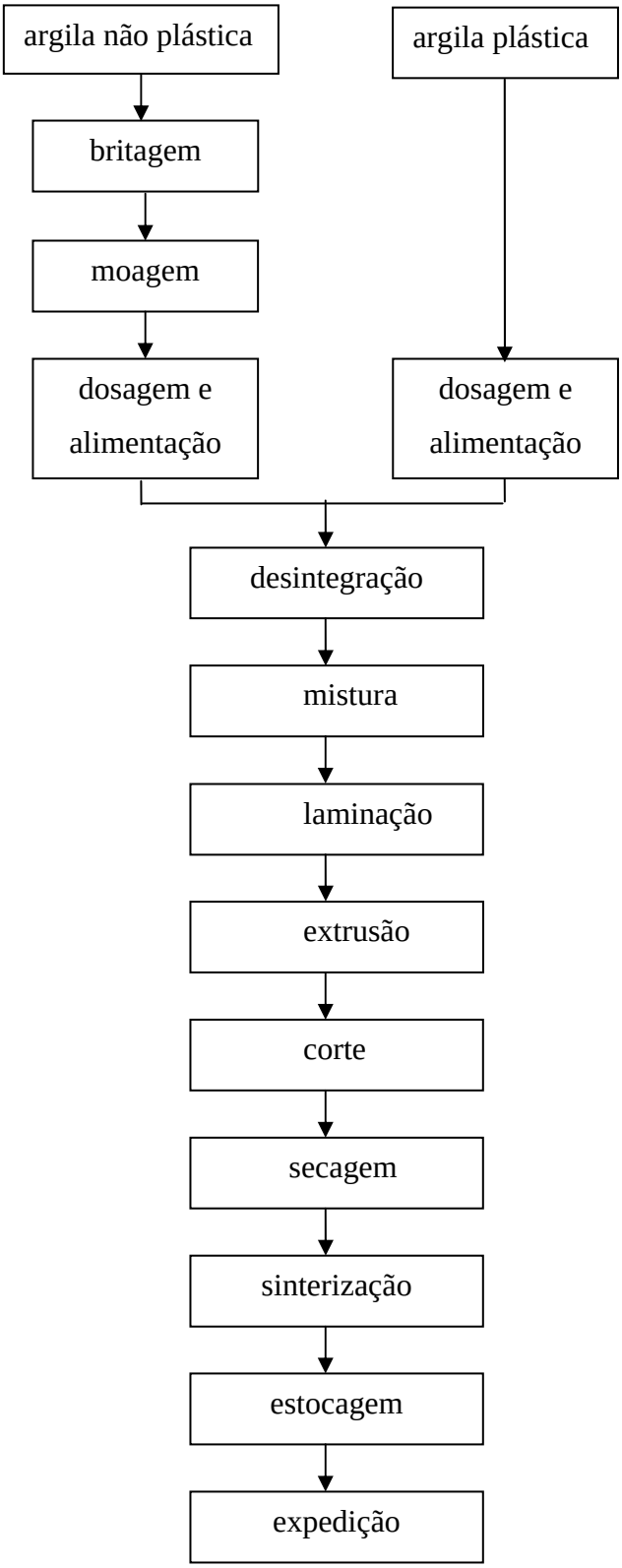

Figura 2.1 - Fluxograma de fabricação de tijolos e telhas [ABCERAM, 2005 adaptado].

O processo de fabricação de tijolos engloba várias etapas como: recebimento; beneficiamento e formulação da massa cerâmica; processo de laminação e conformação; secagem; sinterização; estocagem; expedição e venda. Sendo que cada uma destas etapas será descrita abaixo.

2.2.1 - Recebimento, beneficiamento e formulação da massa cerâmica

Esta etapa começa na retirada das argilas do meio ambiente e transporte destas até a olaria. Após isto, as matérias-primas passam por etapas de beneficiamento como britagem, moagem e desaglomeração, para diminuir a granulometria dos torrões previamente retirados do meio ambiente. A etapa seguinte se refere a mistura das argilas para obtenção da massa cerâmica.

Dentro de uma olaria, as formulações das massas cerâmicas estão fundamentadas na mistura de argilas, sendo uma mais plástica, que é composta predominantemente por diferentes argilominerais e também apresenta em sua composição o óxido de ferro. Esta argila recebe popularmente o nome de “gorda”. Sua coloração é vermelha escura quando úmida, chegando a quase marrom quando atinge seu limite de temperatura de sinterização.

A outra é composta por materiais não argilosos como: quartzo, óxidos e materiais fundentes, e é conhecida como “magra”. Sua coloração é mais clara após a sinterização.

A argila plástica é utilizada para conferir a coloração avermelhada ao tijolo e para facilitar o processo de extrusão. Já a argila não plástica é utilizada para garantir a rigidez das peças a verde e para auxiliar no processo de sinterização, pois esta geralmente apresenta em sua composição materiais fundentes, que formam fase líquida e conseqüentemente reduzem a temperatura de sinterização.

2.2.2 - Processo de laminação e conformação

Após a mistura das argilas, elas são conduzidas ao laminador que tem o objetivo de reduzir a argila pastosa em lâminas finas, fazendo-a passar entre dois cilindros de ferro fundido que trituraram por esmagamento todas as pedrinhas ou torrões ainda não desfeitos. O material laminado é então transportado para o processo de conformação. O principal processo de conformação de tijolos é através da extrusão, conhecido popularmente como “maromba”.

A extrusão é o processo pelo qual se dá forma a um produto cerâmico por meio da passagem de massa plástica, pela abertura da boquilha da extrusora, popularmente conhecida nas olarias por “maromba”. Esta é a técnica mais conhecida de conformação

hidroplástica. Para que a extrusão ocorra a massa utilizada deve ter uma plasticidade suficiente para que a mesma possa ser moldada.

2.2.3 - Processo de secagem

Os tijolos são encaminhados para a secagem natural permanecendo um período médio de 10 dias com tempo bom e aproximadamente 30 dias no caso de tempo frio/úmido. O tempo de secagem pode ser reduzido para aproximadamente 72 horas, quando se utiliza a secagem artificial realizada em estufas em temperatura de aproximadamente 70°C. Geralmente não se utilizam secadores artificiais para os tijolos, pois os mesmos aumentariam muitos os custos de produção.

2.2.4 - Processo de sinterização

De todas as etapas do processo de fabricação de tijolos, a sinterização é a mais importante. Neste processo ocorre a união dos grãos constituintes das argilas, sendo que o início desta, vai ser influenciada pelos tipos de argilominerais que compõem as argilas utilizadas para a fabricação de tijolos ou telhas. Nesta etapa o produto cerâmico sofre as reações e transformações químicas e físicas necessárias para conceder ao produto as propriedades requeridas [BARSOUM, 1997].

Materiais e pós com diferentes características sinterizam-se de maneira diferente, porém todos estes tipos são agrupados em duas classes: sinterização por fase sólida e sinterização por fase líquida.

Na grande maioria das empresas cerâmicas a utilização de sinterização por fase líquida tem uma importância fundamental na economia, uma vez que esta diminui a temperatura de sinterização. A sinterização por fase líquida apresenta duas vantagens significativas em comparação a sinterização por fase sólida: é um processo muito mais rápido e apresenta uma densificação mais uniforme [BARSOUM, 1997].

Para que uma sinterização de fase líquida ocorra, necessariamente deve-se existir no mínimo dois diferentes materiais misturados, sendo que um deles deve ser fundente ou possuir em sua composição elementos que tenham esta característica. Em materiais argilosos este comportamento depende da presença de fundentes como os feldspatos, o óxido de sódio (Na_2O) e o óxido de potássio (K_2O) que são óxidos fundentes.

Finalizando a produção dos tijolos, as peças sinterizadas são estocadas em galpões até atingir a temperatura ambiente para que posteriormente sejam encaminhados para expedição e venda.

2.3 – Propriedades dos materiais cerâmicos

Os materiais cerâmicos são constituídos por materiais inorgânicos, contendo elementos metálicos e não-metálicos, distribuídos em muitos arranjos estruturais, que permitem obter produtos para uma larga aplicação tecnológica e excelentes propriedades.

Esses produtos suportam temperaturas superiores a 1000°C, possuem boa resistência química e resistência mecânica e ao desgaste São geralmente duros, isolantes térmicos e com ponto de fusão muitas vezes superiores a outras classes de materiais. Ao se tratar, especificamente de cerâmica vermelha, soma-se às boas características já citadas, o fato de que existe uma grande quantidade disponível de matéria-prima no meio ambiente, o que faz com que o custo de produção destas peças cerâmicas seja baixo. Por outro lado, a maior limitação no uso de materiais cerâmicos acontece por causa da sua acentuada fragilidade, já que nesta classe de materiais não ocorre a deformação plástica.

Esta fragilidade acentuada está diretamente relacionada com ligações químicas que os materiais cerâmicos possuem. Essas ligações podem ser iônicas ou covalentes. São ligações fortes, porém quando rompidas, os materiais fraturam de uma forma catastroficamente frágil.

Geralmente as propriedades avaliadas para os tijolos e telhas, pelas normas técnicas vigentes no Brasil são: absorção de água, retração linear, resistência mecânica entre outras. Para cada um destes materiais existem limites específicos destas propriedades.

Segundo o Instituto nacional de metrologia (INMETRO) que utilizou como referência as normas NBR 7.171 de novembro de 1992 (Bloco cerâmico para alvenaria: Especificação), NBR 6.461 de junho de 1983 (Bloco cerâmico para alvenaria - Verificação da resistência a compressão: Método de ensaio) e a NBR 8.947 de novembro de 1992 (Telha cerâmica – Determinação da massa e da absorção de água: Método de Ensaio) realizou um teste para verificar as características dos tijolos produzidos, o valor aceitável para a absorção de água deve ser superior a 8% e inferior a 25%.

2.4 - Uso de matérias-primas alternativas em cerâmica

Atualmente diversos estudos visam a obtenção de materiais cerâmicos através da incorporação de resíduos industriais ou domésticos. Apresenta-se a seguir alguns estudos

referentes a incorporação desses resíduos em diversos processos de fabricação de materiais cerâmicos.

SANCHEZ *et al.* [2004] desenvolveram em escala laboratorial cerâmicas extrudadas vermelhas com adições de resíduos provenientes do polimento de granitos com % em peso de 0, 10, 20, 30 e 40%. Os autores constataram que a adição facilita o processo de secagem das peças, contribui para a redução da porosidade interna e reduz a absorção de água após a sinterização.

MONTEDO *et al.* [2003] afirmaram ser possível a adição de pó de aciaria na fabricação de tijolos. Este resíduo apresenta alto teor de óxido de ferro e desta forma torna-se viável incorporá-lo em massas cerâmicas. Seus resultados mostram que até a incorporação de 3% em peso deste resíduo não altera as características e propriedades finais dos produtos. Outro fator relevante é que a coloração dos tijolos produzidos se torna mais avermelhada devido à presença de óxido de ferro, o que é um atrativo para o mercado consumidor.

VICENZI *et al*. [1999] estudaram a possibilidade de incorporação de escórias de aço inox em uma massa cerâmica de azulejo vermelha. Em seu trabalho os autores avaliaram a influência do teor de escória adicionada e também a influência da granulometria da mesma na massa. Seus resultados mostraram que o material obtido apresentou uma significativa redução de porosidade, conseqüentemente aumento da resistência mecânica quando comparada com a massa pura.

2.5 – Incorporação de subprodutos industriais em cerâmica vermelha

Dentro da grande área cerâmica, a cerâmica vermelha é a área que consegue absorver as maiores quantidades de resíduos provenientes de diversos setores industriais. Estes resíduos são oriundos da: construção civil, indústria vidreira, lodos de tratamento de efluentes de várias indústrias, indústria têxtil, indústria de papel, indústria de curtume, processo de fabricação de granito e mármore, indústria siderúrgica e também da própria indústria cerâmica.

Neste trabalho foram usados resíduos provenientes da industria siderúrgica (escória de alto-forno), indústria de revestimento cerâmico (resíduos sólidos totais) e indústria de reciclagem de vidro.

Todos esses resíduos já são reaproveitados. O resíduo de escória de alto-forno é freqüentemente reutilizado nas industrias que fabricam cimento, porém a reutilização deste

subproduto industrial em cerâmica vermelha é desconhecido. Os resíduos sólidos totais das industrias de revestimentos cerâmicos são reincorporados no próprio processo de fabricação de revestimentos cerâmicos, e o vidro reciclado e moído é reutilizado pela própria indústria vidreira.

2.5.1- Escória de alto-forno

A escória de alto-forno, subproduto da produção de aço, é constituída basicamente por silicatos e alumino-silicatos e tem como principal função eliminar CaO, Al_2O_3, SiO_2, MgO, P_2O_5, Na_2O e K_2O, presentes nas matérias-primas utilizadas para a produção do ferro gusa. Noventa e cinco por cento de sua composição, representada na Tabela 2.2, é constituída por SiO_2, Al_2O_3, MgO e CaO [FOLGUERAS, 2001].

Este resíduo é produzido durante a fusão do aço e permanece como material flutuante na superfície do metal. A escória, após ser separada do metal, pode ser resfriada lentamente ao ar; rapidamente, quando se utiliza jato de água ou de ar e produz-se a escória granulada ou peletizada; ou ainda em resfriamento intermediário, que resultará em uma escória conhecida como expandida. Dentre todos os tipos de escórias produzidas, a granulada é a mais difundida. No Brasil, 95% de toda a escória produzida é fabricada nesta forma [IBS, 1998].

A Tabela 2.2 apresenta a composição química de diferentes escórias de alto-forno (% em peso) produzidas no mundo todo. A escória produzida pela COSIPA (Companhia siderúrgica paulista) foi a utilizada neste trabalho.

Tabela 2.2: Análise química de diferentes escórias de alto-forno [FOLGUERAS, 2001 adaptado].

Componente	Italiana (% em peso)	Reino Unido (% em peso)	Brasil (% em peso)	COSIPA (% em peso)
SiO_2	35-37	33-35	33-36	31
Al_2O_3	11-13	12-15	11-15	14,5
CaO	43-45	38-43	40-44	41,00
MgO	5-7	5-10	5-9,5	9,1
Fe_2O_3	1,05-1,25	0-1	0,25-0,45	0,3
Na_2O	0,40-0,6	0-0,3	0-2	1,0
K_2O	0,1-0.3	0,1-0,4	-	0,4
SO_3	0,02-0,01	0,8-1,3	<0,2	-
MnO	-	-	<1,0	1,1
TiO_2	-	-	-	0,7

Segunda [IBS, 1999], para cada tonelada de ferro gusa produzida são gerados 270 quilogramas de escória de alto-forno aqui no Brasil. Como a produção de ferro gusa de janeiro a junho deste ano foi de 32,723 milhões de toneladas, a produção aproximada de escória de alto–forno produzida neste período é de 8,83 milhões de toneladas [IBS, 2006].

A composição química e o processo de resfriamento da escória de alto-forno são fatores determinantes na sua capacidade aglomerante. A escória, quando submetida a condições de resfriamento brusco na saída do alto-forno (processo chamado de granulação da escória), apresenta propriedades hidráulicas latentes (escória vítrea); mas, se o processo empregado for o contrário (resfriamento lento), a escória se cristaliza, formando-se um produto sem atividade hidráulica. Assim, pode-se associar a reatividade da escória de alto-forno à sua forma de obtenção no estado vítreo [CINCOTTO *et al*,1992].

Todavia, deve-se ressaltar que essa condição apenas não é suficiente para o seu emprego como aglomerante, pois é necessário que a escória seja solúvel, isto é, passível de ataque pela água, para que os elementos formadores dos compostos hidráulicos sejam liberados. Essa solubilidade é favorecida pelo teor de óxido de cálcio presente na escória. Dessa forma, a reação é lenta, mas, em meio fortemente alcalino ou através da ação de sulfatos ou de ambos, torna-se acelerada, sendo a velocidade de reação favorecida pela finura da escória [CINCOTTO *et al*, 1992].

A escória, mesmo após a separação, contém resíduos metálicos que devem ser extraídos. Portanto, é fundamental que exista uma etapa de beneficiamento para a remoção destes resíduos metálicos. Esta etapa é realizada com um sistema de separadores magnéticos. Esta remoção evita o surgimento de problemas no uso de escória em outros processos, como por exemplo, contaminação pela presença de metais indesejáveis. Além disso, possibilita que estes resíduos metálicos que foram removidos possam ser reaproveitado na composição de ligas [CINCOTTO *et al*, 1992].

Trabalhos científicos desenvolvidos com escória de alto-forno

Os principais trabalhos científicos desenvolvidos até o momento visaram à utilização deste resíduo, na industria cimenteira, quando se substitui o clínquer por este subproduto. Estes trabalhos já estão bem difundidos aqui no Brasil e principalmente no mundo todo. Porém a reutilização deste tipo de resíduo em cerâmica vermelha não apresenta trabalhos científicos comprovados atualmente no Brasil.

2.5.2 – Resíduos sólidos das indústrias de revestimento cerâmico

Nas indústrias de revestimentos cerâmicos, os resíduos podem ser gerados já na manipulação das matérias-primas e também podem se estender a todo o processo produtivo destes materiais cerâmicos.

Segundo a Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica para Revestimento (ANFACER), o Brasil produziu em 2005, cerca de 534 milhões de metros quadrados de cerâmica de revestimento, ficando atrás somente da China, Itália e Espanha. Sendo que, deste montante produzido, aproximadamente 13% são perdas geradas pelos processos de fabricação dos pisos. Do ponto de vista econômico, levando em consideração o custo médio de fabricação de R$3,75 por metro quadrado, a perda direta está estimada em R$260.325.000,00 neste setor por ano. Considerando o que as empresas deixam de ganhar com estas perdas, é razoável pensar em um processo tecnológico que possa reintegrar estes rejeitos, em condições modificadas, novamente na produção como matéria-prima. [MODESTO, 2005].

Como numa fábrica existem vários setores, os resíduos gerados são classificados de acordo com o local onde o mesmo é produzido. Segundo [ROSA, 2002], os resíduos gerados nestas indústrias são divididos em:

- ✓ Restos de matéria-prima, aditivos e peças cruas (resíduos crus): aqui se incluem as matérias-primas que não foram processadas ou peças cruas que durante ou depois da etapa de conformação se rompem ou são desclassificadas. São originados nas etapas que antecedem a queima, e por isso são chamados de resíduos crus.
- ✓ Resíduos da depuração de gases: são os materiais sólidos ou em suspensão aquosa. Podem ser reaproveitados no próprio processo de preparação da massa cerâmica, já que este tipo de resíduo é constituído majoritariamente por pó da mesma composição da massa cerâmica.
- ✓ Produto acabado fora das especificações ou normas (resíduos queimados): são os resíduos originados após a etapa de queima, por ruptura ou por as peças não cumprirem as especificações requeridas. São usados como inerte na fabricação de produtos de construção ou eliminados em aterro.
- ✓ Resíduos da etapa de polimento: são as lamas geradas no polimento das peças cerâmicas do tipo grês porcelanato.

- ✓ Resíduo de esmaltação: é também conhecido como lama da esmaltação. São gerados durante a lavagem dos moinhos de esmalte ou durante a própria esmaltação. Desta forma, apresentam uma composição química semelhante aos esmaltes usados na própria indústria.
- ✓ Resíduos sólidos totais: incluem todo tipo de resíduo sólido gerado nas estações de tratamento de efluentes das fábricas.

Trabalhos científicos desenvolvidos com estes resíduos

Existem atualmente diversos trabalhos, onde os pesquisadores buscam reaproveitar os resíduos sólidos das indústrias cerâmicas. Dentre os trabalhos desenvolvidos, uma grande parcela refere-se ao reaproveitamento dos resíduos da etapa de esmaltação, já outros se referem à reutilização de lodos ou de resíduo de polimento, por exemplo.

SOUSA [2003] relatou em sua dissertação de mestrado que é possível utilizar o resíduo de esmaltação de uma indústria de revestimento cerâmicos para a produção de isoladores, já que após a caracterização do resíduo usado pelo autor, verificou-se uma grande semelhança na composição química com o material usado para a fabricação de isoladores elétricos e também na formação da fase vítrea. Somado-se a isto, seus resultados mostraram altos valores de rigidez dielétrica (maiores do que 25 KV) e a não ocorrência de ruptura dielétrica das suas amostras, o que indica que seu material pode ser usado na fabricação de isoladores elétricos de distribuição secundária.

SOUSA [2003] testou ainda a utilização do resíduo de esmaltação na produção do próprio esmalte, porém este reaproveitamento ficou tecnicamente inviabilizado, já que o resíduo apresentou baixa resistência à abrasão e à dureza ao risco e pela incompatibilidade dilatométrica evidenciada pelas suas amostras com dimensões semelhantes à de uma placa cerâmica.

ROSA [2000] mostrou em seu trabalho que adições de até 4 % em peso de resíduo sólido de polimento de grês porcelanato no processo biqueima para obtenção de revestimentos cerâmicos é viável, já que as peças cerâmicas fabricadas apresentam propriedades adequadas ao uso, segundo as normas vigentes no Brasil.

COSTA *et al*. [2002] relatam em seu trabalho que é possível reutilizar lama de uma estação de tratamento de águas residuais (ETARI) de uma unidade cerâmica produtora de peças decorativas de terracota (barro vermelho) majoritariamente obtidas por colagem de barbotina em moldes de gesso. Segundo os autores as lamas apresentam características

razoavelmente constantes com o tempo, sendo possível sua reincorporação direta em pastas da mesma natureza. A reintrodução de até 3% em peso na suspensão não acarreta alterações significativas nas condições de processamento e nas características do produto final.

Segundo MODESTO *et al*. [2003] pode-se fabricar pavimentos cerâmicos a partir de uma massa cerâmica composta por uma argila comercial e dois resíduos industriais. O resíduo A refere-se ao lodo gerado na unidade de Porcelanato do Grupo Eliane e o resíduo B refere-se ao lodo produzido na estação de tratamento de efluentes da unidade I, II e III do grupo Eliane. Foram feitas varias formulações, sendo que formulação 6 que apresenta 20% de argila, 50% do resíduo A e 30% do resíduo B apresentou resultados de resistência mecânica e absorção de água dentro dos limites requeridos pelas normas de certificação e, portanto pode compor massas cerâmicas e diminuir o impacto ambiental da enorme quantidade de matéria-prima retirada do meio ambiente diariamente e se produzir um pavimento cerâmico ecologicamente correto.

Existem vários trabalhos que visam a reutilização de resíduos sólidos cerâmicos como os citados acima, mas no Brasil isto não é feito com tanta freqüência, quando comparado com os paises desenvolvidos. Por exemplo na Itália, os resíduos das indústrias cerâmicas já são totalmente reaproveitados. Seguindo este mesmo raciocínio de reaproveitamento total dos resíduos cerâmicos industriais, nos Estados Unidos foi construída uma usina de processamento que visa aproveitar os resíduos da construção civil. Portanto, baseado neste panorama, a transformação e o reaproveitamento dos resíduos cerâmicos para o setor no país torna-se indispensável para que se consiga ter um desenvolvimento industrial, sustentável e ecologicamente correto (MODESTO *et al*, 2003).

2.5.3 - Vidro

É muito difícil de existir uma definição concreta a respeito do que venha a ser o vidro. Este material possui uma peculiaridade interessante do seu estado físico, grande diferença na composição química e grande campo de aplicação.

Existem diversas definições sobre ele, sendo que NAVARRO, [1991] afirma que o vidro comum, tratando–se apenas das suas principais propriedades técnicas, é um produto inorgânico amorfo, constituído predominantemente por sílica (SiO_2), duro, frágil e transparente, de elevada resistência química e deformável a alta temperatura.

Do ponto de vista físico, o vidro é um líquido super-resfriado, rígido, sem ponto de

fusão definido, com viscosidade alta o suficiente para impedir a sua cristalização. Já quimicamente, é o resultado da união de vários óxidos inorgânicos não voláteis, provenientes da decomposição e da fusão de compostos alcalinos e alcalinos-terrosos e de outras substâncias em conjunto com a sílica, formando um produto final sem estrutura atômica definida, sendo considerado amorfo.

Os vidros são classificados como materiais cerâmicos e possuem estrutura amorfa (não são cristalinos), alta resistência química e o mesmo índice de refração em todas as direções, não atuando sobre a luz polarizada. Além disso, são predominantemente transparentes, embora existam os translúcidos e os opacos; têm baixa condutividade térmica, elétrica e acústica; são instável a altas temperaturas quando são expostos por um longo período a uma temperatura acima de seu ponto de amolecimento. Eles cristalizam-se, fenômeno este chamado de desvitrificação e acontece o amolecimento gradativo até ser atingido o estado líquido [NAVARRO, 1991].

O Brasil produz aproximadamente 890 mil toneladas de embalagens de vidro por ano, usando cerca de 46 % deste total como matéria-prima reciclada na forma de cacos. A quantidade reciclada é de 390 mil ton/ano. Desse total, 40% é oriundo da indústria de envaze, 40% do mercado difuso, 10% do "canal frio" (bares, restaurantes, hotéis) e 10% do refugo das indústrias [CEMPRE, 2006].

Nos Estados Unidos, o índice de reciclagem é próximo ao do Brasil, em torno de 40%, correspondendo a 2,5 milhões de toneladas. A média européia de reciclagem deste material, ultrapassa os 50%. Por exemplo, na Alemanha, o índice de reciclagem em 2001 foi de 87%, correspondendo a 2,6 milhões de toneladas, já na Suíça, Finlândia, Noruega e Bélgica aproxima-se de 90% [CEMPRE, 2006].

As composições químicas dos vidros são muito variadas, já que pequenas alterações são feitas para proporcionar uma determinada propriedade específica, tais como índice de refração, cor, viscosidade, etc. Porém, o que é comum a todos os tipos de vidros é a presença da sílica, que é a base do vidro. Neste contexto, a Tabela 2.3 apresenta algumas das composições que os vidros podem possuir, o que ratifica a sua grande variedade.

Tabela 2.3: Composição química de diferentes tipos de vidro [VAN VLACK, 1973].

	Componentes majoritários (%)						
Tipo	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**CaO**	**Na_2O**	**B_2O_3**	**MgO**	**Propriedades**
Sílica fundida	99	-	-	-	-	-	Dilatação térmica baixa, vicosidade alta
Borosilicato (pyrex)	81	2	-	4	12	-	Baixa expansão térmica, pequena troca de ions
Vasilhames	74	1	5	15	-	4	Fácil trabalhabilidade, grande urabilidade

A medida que é fornecido temperatura para os vidros, acontecem várias reações químicas, que se iniciam ainda no estado sólido, aproximadamente a partir de 500°C, variando esta temperatura de acordo com a composição, granulometria e homogeneidade da mistura . Entre 500 e 750° C se formam compostos intermediários, e à medida que se aumenta a temperatura, têm-se presentes fases líquidas de ponto eutético relativamente baixos, diminuindo o ponto de fusão da sílica. A temperaturas superiores a 1400° C a massa está perfeitamente fluida e todas as reações químicas estão consumadas [BIGELLI, 2005].

Basicamente os vidros são formados pela ligação química entre elementos químicos metálicos e não metálicos com o oxigênio e também pela junção de alguns semi-metais com o oxigênio como no caso da sílica. Esses materiais são formados por três tipos especiais de óxidos:

- ✓ **Formadores de rede**: inclui óxidos que formam poliedros, que podem formar cadeias, pela ligação com os tetraedos de SiO_4 da rede associado com o SiO_2 vitreo.
- ✓ **Modificadores de rede**: óxidos alcalinos e alcalinos terrosos, tais como Na_2O e CaO não formam poliedros na estrutura vítrea, mas tende a quebrar a continuidade da rede de cadeias de poliedros de SiO_2.

✓ **Intermediários ou estabilizadores**: esses óxidos não podem formar vidro, mas podem substituir os íons Si^{+4} na rede, e conseqüentemente contribuir pra a estabilidade da rede.

A maioria dos elementos química são classificados em alguns destes tipos especiais de óxidos. A Tabela 2.4 apresenta alguns a classificação de alguns elementos, juntamente com a eletronegatividade dos mesmos

Tabela 2.4: Função que desempenham alguns elementos químicos na estrutura do vidro com os respectivos valores de eletronegatividade (STANWORTH, 1950).

Formadores		**Estabilizadores**		**Modificadores**	
Si	1,8	Be	1,5	Mg	1,2
B	2,0	Al	1,5	Ca	1,0
Ge	1,7	Ti	1,6	Sr	1,0
P	2,1	Zr	1,6	Ba	0,9
As	2,0	Sn	1,7	Li	1,0
Sb	1,8			Na	0,9
				K	0,8

Trabalhos científicos desenvolvidos com vidro moído

O vidro é um material com grande diferencial no seu reaproveitamento, já que pode ser reciclado e reaproveitado cem por cento. Em cerâmica existe vários centro de pesquisa que trabalham com a incorporação de vidros em massas cerâmicas, isto acontece, pois o vidro apresenta geralmente em sua composição química, óxidos essenciais para a indústria cerâmica de um modo geral, e ainda possui teores considerados de óxidos fundentes que auxiliam muito no processo de sinterização, já que se reduz a temperatura de sinterização e conseqüentemente o gasto com combustível para o aquecimento do forno. Abaixo serão apresentados sucintamente alguns destes trabalhos.

PEREIRA FILHO *et al*. [2002] utilizaram em seu trabalho vidro soda-cal na forma de pó e adicionaram este resíduo a um taguá da região de Jundiaí, SP, que é freqüentemente usado para a fabricação de blocos e telhas cerâmicas, nos teores 5,10 e 15 % em peso. Os corpos-de-prova foram sinterizados a 950°C e algumas propriedades cerâmicas foram avaliadas, como retração linear, absorção de água e resistência mecânica.

Seus resultados mostraram que quanto maior o teor de vidro adicionado consegue-se uma redução sensível na absorção de água (10,5% para 2,0%), bem como um aumento expressivo na resistência à flexão (11,8 para 31,3 MPa), o que reforça a idéia que este resíduo pode ser perfeitamente usado na fabricação de produtos cerâmicos.

GRESPAN SETZ *et al.* [2001] estudaram a utilização de pó de vidro proveniente da etapa de polimento de fabricação de peças de vidro em uma massa cerâmica vermelha conformada por prensagem a seco. Foram efetuados ensaios de resistência à flexão em três pontos, absorção de água e retração após a sinterização. Devido a dispersão dos resultados nos materiais cerâmicos, os autores usaram o método estatístico de Weibull para comparar a resistência mecânica contendo diferentes teores de pó de vidro. As composições estudadas possuem 0, 6, 13% em peso de vidro adicionado e a temperatura de sinterização foi de 1000°C.

Seus resultados mostraram que a adição deste resíduo aumenta a retração linear e diminui a absorção de água à medida que o teor de vidro aumenta. Já para a tensão de ruptura, o maior valor encontrado pelos pesquisadores é para a composição com 6% de vidro (11,3 ± 8,2 MPa) seguido de perto da composição que possui 10% (10,7 ± 4,5 MPa). Nas conclusões, os autores relatam que a adição do vidro em pó aumenta a tensão de ruptura obtida pelo método de Weibull (do corpo queimado), reduz a absorção de água e aumenta a retração linear quando comparados com os corpos-de-prova confeccionados somente com uma argila Taguá.

GODINHO *et al*. [2005] adicionaram pó de vidro de diferentes tipos e investigaram o efeito desta adição nas propriedades tecnológicas como a absorção de água, retração linear e tensão de ruptura de uma massa argilosa usada normalmente para a fabricação de telhas. Foram usados vidros de vasilhames, de janela (vidro plano) e do funil de tubo de televisão. As quantidades usadas destes materiais foram de 6, 13 e 20% em peso. Foram preparados corpos-de-prova com seção retangular de dimensões de 115x25,4mm^2, sob pressão de 25 MPa. Os corpos-de-prova foram sinterizados em três temperaturas: 900, 975 e 1050°C.

Seus resultados mostraram que os três tipos de vidros empregados possuem efeito positivo na sinterização de uma massa cerâmica freqüentemente usada para a fabricação de telhas. Por ser mais rica em óxidos fundentes, a fase líquida formada a partir do vidro de tubo de televisão forma-se em menores temperaturas e tende a ser menos viscosa. Isto explica a

maior influência deste tipo de aditivo em algumas massas**.** A Tabela 2.5 apresenta a composição química do vidro estudado por GODINHO *et al*, [2005].

Tabela 2.5- Composição do vidro usada.

(% em peso)									
Material	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**Fe_2O_3**	**Na_2O**	**K_2O**	**PbO**	**PF**
Vidro plano	65,75	0,66	12,5	3,05	0,12	16,71	0,74	<0,01	0,48
Vidro de embalagens	67,49	0,90	12,60	0,10	0,09	16,65	0,79	<0,01	0,51
Vidro tubo de TV	48,60	1,68	2,80	1,80	0,11	7,31	7,68	24,96	0,67

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1- Materiais

As matérias-primas usadas nesta pesquisa, para o desenvolvimento das massas cerâmicas, foram algumas argilas comerciais utilizadas na fabricação de tijolos e telhas cerâmicas, provenientes de algumas olarias da região de Joinville. Somando-se a estes materiais, incluem-se também os resíduos que posteriormente foram incorporados na massa cerâmica.

3.1.1 Argilas

Foram coletadas 9 argilas comercias e as mesmas foram codificados em argila A, B, C, D, E, F, G, H, I e guardadas em sacos plásticos devidamente identificadas para posterior utilização. Tomou-se o cuidado de retirar estas matérias-primas de olarias que armazenavam estas argilas separadamente.

3.1.2- Resíduos

Foram recebidos os resíduos industriais utilizados nesta pesquisa. O resíduo 1 é proveniente da região de São Paulo, da Cosipa S.A. e se refere à escória de alto-forno (EAF). O resíduo 2, é proveniente da região de Tijucas-SC, da Portobello S.A. e trata-se da lama das estações de tratamentos de efluentes desta empresa (LP). O resíduo 3, é proveniente da região de Imbituba-SC, de uma pequena empresa de reciclagem e se refere a vidro reciclado e moído (V). Já o resíduo 4, proveniente da região de Criciúma-SC, da Eliane S.A. trata-se novamente das lamas das estações de tratamento de efluentes desta empresa (LE). Para finalizar, o resíduo 5 é a mistura do resíduo 1 com o resíduo 3 (M), essa mistura foi realizada com o auxílio do digrama pseudoternário (SiO_2-CaO-MgO), com a intenção de favorecer a redução da temperatura de sinterização.

Segundo dados fornecidos pela empresa Eliane S.A., o LE é proveniente da fabricação de pisos de monoqueima, revestimentos de monoporosa e porcelanato esmaltado, e refere-se a resíduos de massas cerâmicas e resíduos da etapa de esmaltação. A quantidade gerada é de aproximadamente 600 ton/mês (úmido). A composição deste resíduo é de aproximadamente 70% de massa cerâmica e 30 % de esmalte. O material

semelhante ao fornecido pela empresa Eliane S.A, foi também pela empresa Portobello S.A. e trata-se do LP.

3.2 – Métodos

Todas as etapas envolvidas neste trabalho estão representadas no fluxograma da Figura 3.1. Para um melhor entendimento, dividiu-se essa pesquisa em oito etapas que abrangem todos os métodos utilizados, e que serão descritos a seguir.

De forma resumida a proposta foi de caracterizar todas as matérias-primas disponíveis, sejam elas as argilas utilizadas pelas olarias ou os materiais alternativos disponíveis. A caracterização envolveu as principais técnicas que permitissem a avaliação das características e propriedades destes materiais. Na formulação, procurou-se avaliar o efeito de pequenas adições de resíduos e os fatores limitantes para a utilização de teores elevados de cada resíduo. Esta avaliação teve como base o uso das curvas de gresificação, além de medidas de resistência à flexão.

3.2.1- Beneficiamento dos materiais

Foram coletados de diversas olarias da região de Joinville, 5 quilos de nove argilas diferentes. Posteriormente, retirou-se 2 quilos de cada tipo de argila e foi então realizado o beneficiamento destas. Esse beneficiamento abrange: o processo de desaglomeração manual; moagem a úmido, em moinho de bolas por 2 horas para homogeneização das argilas; secagem em estufa a 70°C por 24 horas; nova moagem manual para desaglomeração e peneiramento em peneiras com abertura de 0,85 mm. Após este beneficiamento, as argilas foram armazenadas.

Os resíduos foram recebidos todos sólidos e também passaram por um beneficiamento prévio, que teve como seqüência: desaglomeração manual, peneiramento em peneira de 0,85 mm, com exceção do vidro em pó que precisou ser moído novamente e passar por peneira de 0,0063 mm uma vez que foram feitos testes preliminares com a granulometria menor do que 0,85 mm e os corpos de prova produzidos apresentaram defeitos estéticos grosseiros e visíveis e isto não aconteceu quando foi usada a peneira de 0.0063 mm. Após esse peneiramento todos os resíduos foram armazenados.

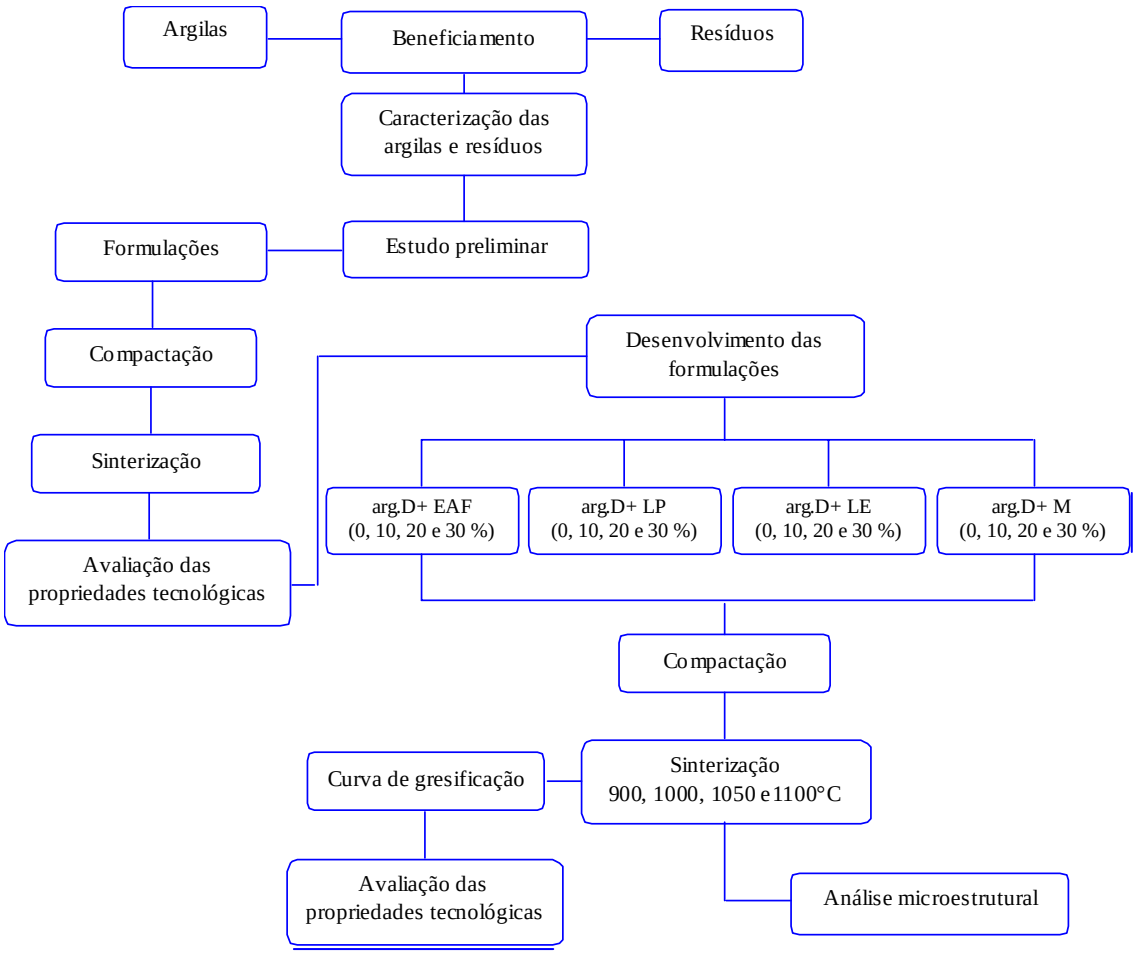

Figura 3.1 - Fluxograma representativo da seqüência de etapas envolvidas no desenvolvimento do trabalho

3.2.2 - Caracterização das argilas

A caracterização das argilas iniciou-se com a preparação das argilas para o ensaio de difração de raios-X com taxa de 2°/ min. ação de raios-x foi realizada com a preparação das amostras: normal, compactada, calcinada e glicolada para cada uma das nove argilas, de acordo com procedimento convencional empregado [ALBERS *et al*. 2000]. Foi usado difratômetro de raios-x marca Shimadzu, modelo XDR 6000, com tubo de cobre com aplicação de voltagem de 40kv e corrente de 20 mA. Os ensaios foram realizados na faixa de 5 a 70° (ângulo 2θ), suficiente para identificar as possíveis fases presentes.

Paralelamente foram enviadas amostras das nove argilas para análise química. Os ensaios foram realizados por fluorescência de raio-x e os resultados foram apresentados na

forma de % em peso de óxidos. Estas análises foram efetuadas nos laboratórios do CTCMat – SENAI em Criciúma.

De posse da análise química optou-se pela otimização de experimentos na seqüência da pesquisa, onde foram escolhidas apenas duas argilas das nove coletadas primeiramente. As argilas escolhidas foram aqueles que possuíam os codinomes: argila D e argila H.

Após a escolha das argilas D e H, as mesmas foram encaminhadas para os ensaios de análise térmica diferencial (ATD) e termogravimetria (TG) para finalizar a caracterização destas. Para a realização dos ensaios de análise térmica diferencial e termogravimétrica foi utilizado um equipamento Netzsch modelo STA 449C-JUPTER. Os ensaios foram realizados utilizando taxa de aquecimento de 5ºC/min até 1400ºC usando ar sintético.

3.2.3 - Caracterização dos resíduos

A seqüência de caracterização dos resíduos foi similar a das argilas. Os resíduos foram caracterizados quimicamente, mineralógicamente e termicamente pelas mesmas técnicas já mencionadas. Após o término da caracterização dos resíduos, optou-se pelos resíduos 1, 2, 3 e 5; já que o resíduos 4 é semelhante ao resíduo 2 na composição química, presença de fases cristalinas e comportamento térmico.

Os ensaios de difração de raio-x para os resíduos foram efetuados utilizando-se apenas a amostra compactada na temperatura ambiente. Foi realizado também a difração de raio-x para os resíduos sinterizados a 1000°C com patamar de sinterização nesta temperatura por duas horas.

3.2.4 - Estudo preliminar

Na primeira fase somente as argilas D e H foram compactadas, produzindo corpos-de-prova, por prensagem uniaxial, nas dimensões de 70 mm x 30mm x 7 mm com carga aplicada de 20 MPa, umidade de 7%. Posteriormente foi realizada a sinterização destas argilas a temperatura 1000°C com patamar de sinterização nesta temperatura por duas horas. Após a sinterização foram realizados testes de absorção de água, retração linear, densidade aparente e tensão de ruptura para as argilas D e H puras.

A densidade aparente dos materiais sinterizados foi determinada a partir da utilização do Princípio de Arquimedes e com o auxílio de uma balança com resolução de 0,001, à qual foi acoplado um sistema convencional de medida de peso imerso. Foram medidos os valores de peso seco (P_s), peso úmido (P_u) e peso imerso (P_i).

O peso seco é o peso do material após sinterização; o peso úmido é o peso do material após ter sido submerso em água por 24 horas, e por sua vez, o peso imerso é o peso equivalente ao volume de água deslocado.

Estes valores permitiram o cálculo de parâmetros como, densidade aparente total (D_A), e absorção de água (AA). Para a determinação destas propriedades físicas foram utilizadas as equações 3.1, e 3.2.

$$D_A = \frac{P_s}{(P_u - P_i)} \qquad \text{Equação 3.1}$$

$$AA(\%) = \frac{(P_u - P_s)}{(P_s)} x100 \qquad \text{Equação 3.2}$$

Para os ensaios de resistência à flexão foi utilizada máquina Emic capacidade máxima de 300 KN modelo DL 30000 a que foi acoplado um dispositivo para ensaios de flexão em três pontos, onde a distância entre apoios foi mantida fixa para todos os ensaios. Os ensaios foram realizados com uma velocidade de carregamento constante de 5mm/min e a célula de carga utilizada foi de 500 N.

A tensão de ruptura (σ_f) foi determinada a partir da equação 3.3 descrita abaixo:

$$\sigma_f = \frac{3}{2}\frac{P_{max} L}{BW^2} \qquad \text{Equação 3.3}$$

onde: P_{max} – carga máxima atingida;
L – distância entre apoios;
B – Espessura do corpo-de-prova;
W – altura do corpo-de-prova.

Após a avaliação destas propriedades, foram elaboradas algumas misturas preliminares das argilas D e H com os resíduos 1, 2, 3 e 5, nas proporções em peso 0%,

1%, 5%, 10% e 20% de resíduo. Para uma melhor homogeneização entre a argila D e os resíduos, usou-se um misturador em Y, onde cada formulação permaneceu no moinho por 30 minutos. A seqüência da produção dos corpos-de-prova é a mesma daquela apresentada acima. Foram então avaliadas as mesmas propriedades tecnológicas já mencionadas.

Os resultados preliminares ajudaram a optar pela utilização, na seqüência do trabalho, de apenas a argila D. Para cada argila foram produzidos 5 corpos-de-prova e os resultados preliminares referem-se a média destes.

Posteriormente a otimização dos experimentos pelas mudanças descritas acima, foram formuladas massas cerâmicas contendo a argila D, com os resíduos 1, 2, 3, e 5 nas proporções em peso de 0, 1, 5, 10 e 20% de cada resíduo. A seqüência da produção dos corpos-de-prova é a mesma daquela apresentada no início desta etapa.

Os corpos-de-prova fabricados foram então sinterizados a 1000°C com patamar de sinterização nesta temperatura por duas horas. Os resultados mostraram que não aconteceram mudanças significativas na incorporação de 1, 5 e 10%, portanto optou-se pela utilização, na seqüência do trabalho, das adições de resíduos na proporção de 0,10, 20 % e ainda acrescentou-se a proporção de 30%.

3.2.5 -Desenvolvimento das formulações e processo de fabricação dos corpos-de-prova

Na seqüência do trabalho, foram desenvolvidas novas formulações com 0, 10, 20 e 30% de resíduo adicionado a argila D. Posteriormente fabricou-se novamente corpos-de-prova pelo processo de fabricação já citado. Dando continuidade ao trabalho foram construídas curvas de gresificação, com o intuito de avaliar as propriedades tecnológicas na medida que a temperatura de sinterização fosse aumentada.

Para estas formulações foram fabricados 5 corpos-de-prova, e então foi realizada a média destes para que fosse possível avaliar as suas propriedades tecnológicas. Esta estratégia foi tomada para garantir uma maior confiabilidade nos resultados obtidos, porém é valido ressaltar que em cerâmica existe uma grande dispersão dos resultados.

3.2.6 Sinterização e avaliação final das propriedades tecnológicas

Os corpos-de-prova produzidos foram então sinterizados nas temperaturas de 900, 1000, 1050 e 1100°C, simulando temperaturas freqüentemente usadas nas olarias nacionais. Após a sinterização e com o término dos ensaios físicos (absorção de água, retração linear e densidade aparente) e do ensaio mecânico (tensão de ruptura) foram realizadas as avaliações finais destas propriedades.

3.2.7 Análise microestrutural

Para análise da microestrutura dos materiais sinterizados foram utilizados procedimentos convencionalmente empregados em materialografia. Assim, os corpos-de-prova foram cortados com auxílio de um serrote e para eliminar rugosidade da superfície cortada foi feito um lichamento usando papel sulfite. Este lichamento nada convencional foi realizado, pois as partículas se despedaçavam com grande facilidade. O equipamento usado para está análise foi um microscópio eletrônico da marca PHILIPS modelo 456738. Juntamente com a análise materialográfica foi também realizada a análise pontual de algumas formulações usadas neste trabalho.

3.2.8 – Quantificação dos gases emitidos na sinterização

Este ensaio tem como objetivo quantificar as quantidades dos gases emitidos mais nocivos ao meio ambiente e a saúde humana e também complementar ainda mais este trabalho. Os ensaios e os resultados obtidos foram fornecidos pelo laboratório de Ciências Físicas (LCFIS) do Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) situado na Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENEF)

A técnica utilizada para esta quantificação foi a técnica fototérmica, que abrange um conjunto de técnicas baseadas no efeito fototérmico, um fenômeno resultante da interação da radiação com a matéria, de forma que radiação modulada incide na amostra, fazendo com que esta absorva a energia da radiação, que no caso específico de gases, é transmitido a um detector fototérmico que transforma em tensão, que comparado à tensão de referência informa a concentração do gás da amostra sob investigação.

Os principais equipamentos utilizados foram: forno tubular resistivo digital INTI da MAITEC com controlador microprocessador com precisão de queima de 0,5 ^{o}C, modelo FE50RP da FLYEVER equipamentos; analisador infra-vermelho de gases, URAS 14, da ABB; sistema de aquisição de dados apropriado, “Plant Pilot”.

Os gases emitidos na queima da amostra foram sugados a 3ml/min e, entrando no analisador de gases, que estava diretamente conectado ao forno tubular, quantificou a concentração simultaneamente dos gases selecionados, isto é, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (NO), metano (CH_4) e dióxido de enxofre (SO_2). As medidas foram feitas após 20 minutos de permanência na temperatura selecionada no forno. Os gases foram medidos nas seguintes temperaturas: 200, 300, 400, 500, 600, 800 e 1000°C. A unidade utilizada para a concentração dos gases foi ppm.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A exposição dos resultados, para um melhor entendimento, será dividida em: caracterização química; caracterização mineralógica, caracterização térmica, curvas de gresificação, avaliações das propriedades tecnológicas, análise microestrutural e quantificação de gases emitidos.

4.1 -Caracterização química

A caracterização química foi realizada tanto nas argilas como nos resíduos industriais e os resultados serão apresentados nos sub-itens a seguir.

4.1.1 - Caracterização química das argilas

Para o desenvolvimento do trabalho foram coletadas as nove argilas de diferentes olarias da regiâo de Joinville, sendo verificado através da análise química que as mesmas apresentam características bastante semelhantes, o que levou a opção de otimizar os experimentos e então continuar a pesquisa com apenas duas argilas principais e representativas do todo. As argilas escolhidas foram a argila **D** e a argila **H**. Na Tabela 4.1 estão listadas as composições químicas das diferentes argilas.

Tabela 4.1 - Análise química das argilas (% em peso).

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MnO	TiO_2	MgO	P_2O_5	P.F.
Argila A	61,02	22,08	3,65	0,33	0,09	0,93	0,04	1,58	0,30	0,05	9,93
Argila B	53,75	24.56	3,18	0,50	0,16	0,81	0,04	1,38	0,44	0,05	15,12
Argila C	49,82	24,65	11,76	0,25	<0,01	0,20	0,08	1,21	0,11	0,11	11,82
Argila D	50,01	25,55	10,50	0,22	<0,01	0,24	0,05	1,28	0,18	0,10	11,54
Argila E	45,88	26,03	14,52	0,24	<0,01	0,23	0,05	0,98	<0,1	0,21	11,85
Argila F	59,50	23,12	3,67	0,22	0,15	0,80	0,04	1,27	0,29	0,12	10,01
Argila G	60,80	22,78	3,86	0,24	0,12	0,86	0,05	1,37	0,28	0,07	9,57
Argila H	67,21	17,25	4,01	0,28	0,14	1,01	0,09	1,39	0,21	0,12	8,01
Argila I	68,73	16,29	4,14	0,30	0,09	0,91	0,06	1,36	0,34	0,06	7,70

As argilas A e B , C, D e E, F e G e H e I apresentam composição química semelhante, porém são provenintes de diferentes olarias. Com objetivo de otimizar os experimentos foi proposto neste trabalho a escolha de apenas a Argila D e da Argila H.

Este fato ocorreu mediante a grande quantidade disponível destas duas matérias primas naturais fornecidas por uma olaria da região de Joinville. Outro fator determinante, para escolha, foi a porcentagem considerável de óxido de ferro da argila D e a procentagem superior a 1% de óxidos fundentes da argila H.

Observa-se que todas as argilas apresentam a sílica (SiO_2) como componente majoritário. Após este óxido, o óxido de alumínio (Al_2O_3) é encontrado em maior porcentagem em todas as argilas; isto evidencia, que as mesmas apresentam um carater refratário acentuado e também mostra a presença de argilomineriais.

Dentre todas as argilas estudadas as argilas C, D e E apresentam os maiores teores de Fe_2O_3, e isto explica o fato de que estas possuem uma coloração mais avermelhada após a sinterização. Estas mesmas argilas apresentam os menores teores de SiO_2, enquanto os de Al_2O_3 se mantêm elevados e indicam que estas devem apresentar caracteristicas de plasticidade compatíveis com o processo de extrusão.

Outra característica referente a todas as argilas estudadas é o baixo teor de óxido fundentes como o óxido de sódio (Na_2O) e o óxido de potássio (K_2O). A argila H é a que possui a maior quantidade de K_2O chegando a 1%, todavia este valor juntamente com o valor de Na_2O é baixo em relações as outros tipos de argilas encontradas no Brasil. Esse fato reforça a idéia de que essas argilas necessitam de uma alta temperatura de sinterização.

Todos os resultados obtidos a partir daqui referem-se exclusivamente às argilas escolhidas (argila D e argila H) para a continuidade do trabalho.

Comparação entre as argilas escolhidas

A argila H apresenta teores maiores de sílica, óxido de potássio e sódio , quando comparada à argila D. Isso indica um maior teor de fundentes, na forma de feldspatos, e provavelmente maior teor de sílica livre. A presença tanto da sílica como dos feldspatos refletem na plasticidade da argila que no caso da argila H deve ser menor. A argila D, por sua vez, apresenta teor superior de óxido de ferro, que justifica a coloração avermelhada desta, e perda ao fogo superior, o que explicado pela maior presença de teor do argilomineral, indicando que esta argila possui maior plasticidade.

De fato, essas duas argilas são combinadas em uma olaria para a obtenção dos tijolos. A argila D é utilizada para conferir a coloração avermelhada do tijolo e para

facilitar o processo de extrusão. Já a argila H é utilizada para garantir a rigidez das peças a verde e para auxiliar no processo de sinterização.

4.1.2 - Caracterização química dos resíduos

A análise química dos resíduos,(Tabela 4.2), é importante para escolher qual destes será usado como fonte de alguns óxidos como: SiO_2, Al_2O_3, Na_2O e CaO, e inclusive para que possa ser formulado, se preciso, uma combinação eficiente entre os resíduos estudados.

Dentre todos os resíduos analisados, o R3 apresenta maior quantidade de Na_2O que é um agente fundente e por isso este resíduo possui uma temperatura de sinterização inferior aos demais. Esse resíduo possui ainda alta quantidade de óxido de sílicio e pode ser usado posteriormente como fonte desse óxido. Como este resíduo refere-se ao vidro reciclado e moído, esse alto teor de óxido de silício já era esperado.

Tabela 4.2 - Análise química dos resíduos (% em peso).

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MnO	TiO_2	MgO	P_2O_5	Outros	P.F
EAF	31,6	14,5	0,3	41,00	0,60	2,20	0,00	0,7	9,10	0,00	0,00	4,5
LP	63,75	19,09	0,98	2,22	2,77	2,16	0,04	0,45	1,33	0,07	7,14	-
V	72,31	1,08	0,69	8,36	13,5	0,37	0,02	0,06	3,56	0,02	0,00	-
LE	62,60	16,71	1,44	4,33	2,56	2,19	0,04	0,35	2,18	0,12	7,48	-

Outros: BaO, Cr_2O_3, PbO, ZnO, ZrO_2, Li_2O e B_2O_3.

Dentre todos os resíduos analisados, o V apresenta maior quantidade de Na_2O que é um agente fundente e por isso este resíduo possui uma temperatura de sinterização inferior aos demais. Este resíduo possui ainda alta quantidade de óxido de sílicio e pode ser usado posteriormente como fonte deste óxido. Como este resíduo refere-se a vidro reciclado e moído, esse alto teor de óxido de silício já era esperado.

Já a EAF apresenta a maior quantidade de CaO e também possui alto teor de MgO o que comprova o elevado carater básico deste resíduo. O alto teor de CaO faz com que este resíduo possa ser utilizado como fonte deste óxido.

Por sua vez, o LP e o LE apresentam um maior número de óxidos na sua composição, já que são provenientes de vários setores de uma indústria de revestimento cerâmico. Os dois resíduos têm quantidades semelhantes dos óxidos. Os mesmos apresentam aproximadamente uma quantidade de 5% de óxidos fundentes em sua composição, o que pode auxiliar quando os mesmos forem adicionados a argila D e H.

A incorporação, em massa cerâmica, de resíduos que possuam agentes fundentes é viável, mas vale a pena ressaltar que o efeito deste tipo de óxido depende de como este óxido está presente na composição de tal resíduo. A indústria cerâmica frequentemente utiliza feldspato como agente fundente. Esta matéria-prima pode ser encontrada na natureza de três formas: feldspato potássico, sódico e o cálcico.

4.2– Caracterização mineralógica

A caracterização mineralógica das argilas e dos resíduos usados como matéria-prima nesta pesquisa foram realizadas através da técnica de difração de raio-X, com o objetivo de identificar as fases cristalinas presentes em cada uma destas matérias-primas.

4.2.1 -Caracterização mineralógica das argilas

A caracterização mineralógica das argilas foi realizada através da análise das argilas D e H. Os difratogramas da argila D e o da argila H correspondem respectivamente as Figura 4.1 e 4.2.

Para as duas argilas como já foi dito anteriormente foram preparadas 4 amostras, sendo que a amostra calcinada foi util para identificar a presença dos argilominerias, uma vez que quando as argilas foram calcinadas a 500°C, em alguns casos os picos referentes a presenças destes constituintes desaparecem. Por outro lado, a amostra glicolada comfirma ainda mais a existência dos picos encontrados na amostra compactada e avalia o comportamento de inchamento das argilas analisadas. A amostra normal não foi aqui colocada pois não acrescentou informações significativas em relação as demais amostras.

Através da análise das duas Figuras é possível perceber que presença de quartzo é nítida nas duas amostras enquanto os fundentes, na forma de feldspato tem pequeno destaque na argila H. O feldspato encontrado é o potássico, definido com base na posição dos picos característicos do feldspato juntamente com a análise química das argilas. De uma forma geral essas argilas podem ser classificadas como argilas tendendo a comportamento refratário, sendo que a maior ou menor plasticidade será definida pelo teor de quartzo presente e o teor do argilomineral caulinita.

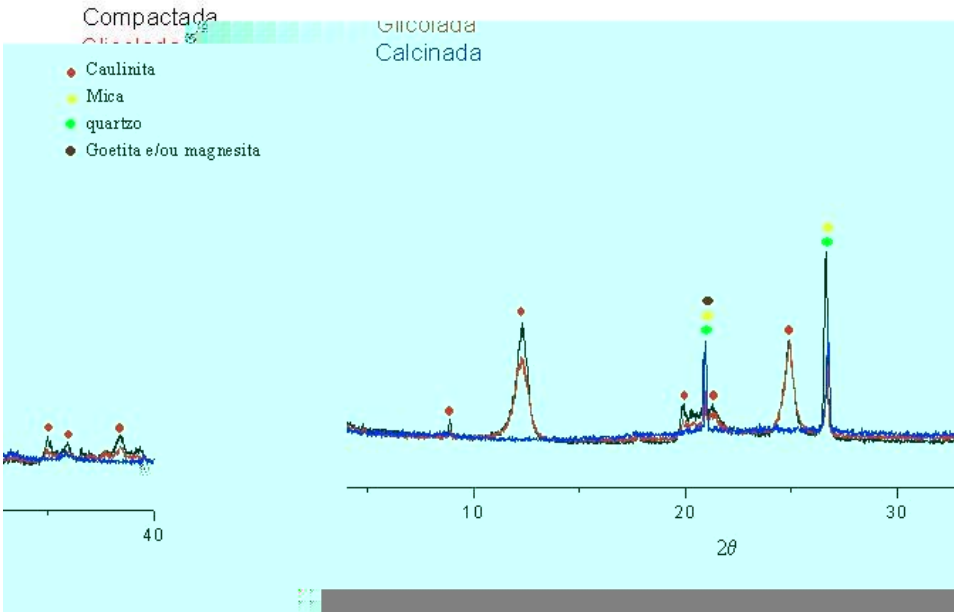

Figura 4.1 - Difratograma da argila D.

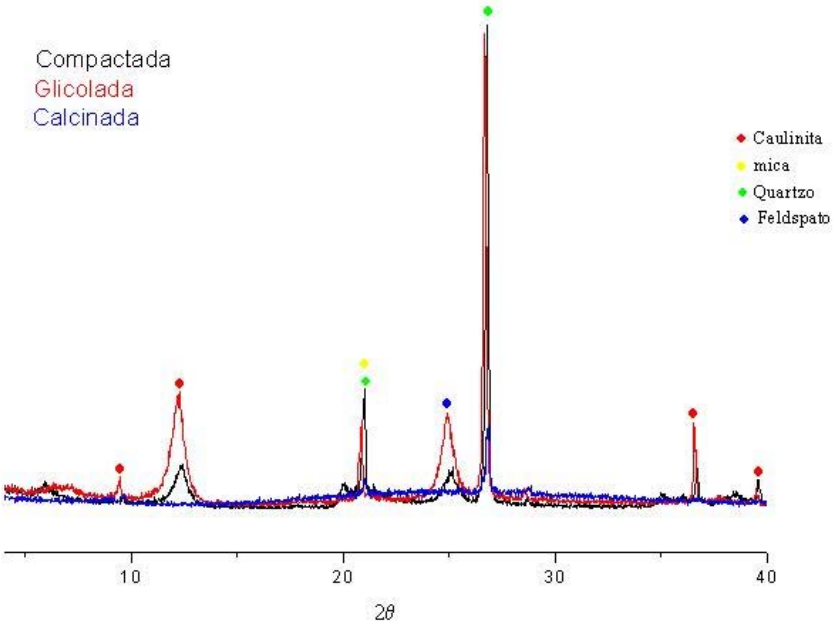

Figura 4.2 - Difratograma da argila H.

Outra análise realizada com o intuito de complementar a caracterização química e mineralógica das argilas foi a análise racional. Tal análise encontra-se na Tabela 4.3 e foi realizada de acordo com a metodologia proposta por COELHO *et al*, 2000.

Tabela 4.3 - Análise racional das argilas D e H (% em peso)

	Caulinita	**quartzo**	**mica**	**magnetita**	**Acessórios**
Argila D	62,72	19,85	2,03	10,14	5,24
Argila H	35,37	46,88	8,55	0,00	9,19

Acessórios: Compreendem outros componentes, inclusive ortoclásio.

Pelos dados da Tabela 4.3, verifica-se que a argila H apresenta maior quantidade de quartzo e menor plasticidade. A grande quantidade de quartzo demosntra que a argila H é usada nas olarias como não plástica. A argila D, por sua vez, é uma argila mas plástica pois apresenta em sua composição uma maior quantidade de argilomineral na forma de caulinita.

4.2.2 -Caracterização mineralógica dos resíduos

A caracterização mineralógica dos resíduos foi realizada através da análise dos resíduos 1 (EAF), 2 (LP), 3 (V), 4 (LE) e 5 (M). Essa caracterização foi realizada a temperatura ambiente a com calcinação a 1000°C. O difratograma do resíduo 1 e do resíduo 2 corresponde respectivamente a Figura 4.3 e a Figura 4.4.

A Figura 4.3 mostra que a EAF apresenta a Calcita ($CaCO_3$) como fase cristalina, o que está de acordo com os valores apresentados na Tabela 4.2, já que neste resíduo existe uma grande quantidade de óxido de cálcio. A Figura 4.3 mostra ainda um desvio na linha de base do difratograma que pode ser um indicativo da presença de fase vítrea. O mesmo resíduo quando tratado termicamente a 1000°C apresentou o $2CaO.Al_2O_3$ (Ghelenita) como única fase cristalina identificada, e novamente é identificada a presença de desvio na linha de base, no intervalo entre 5 e 15° indicando a presença da fase vítrea.

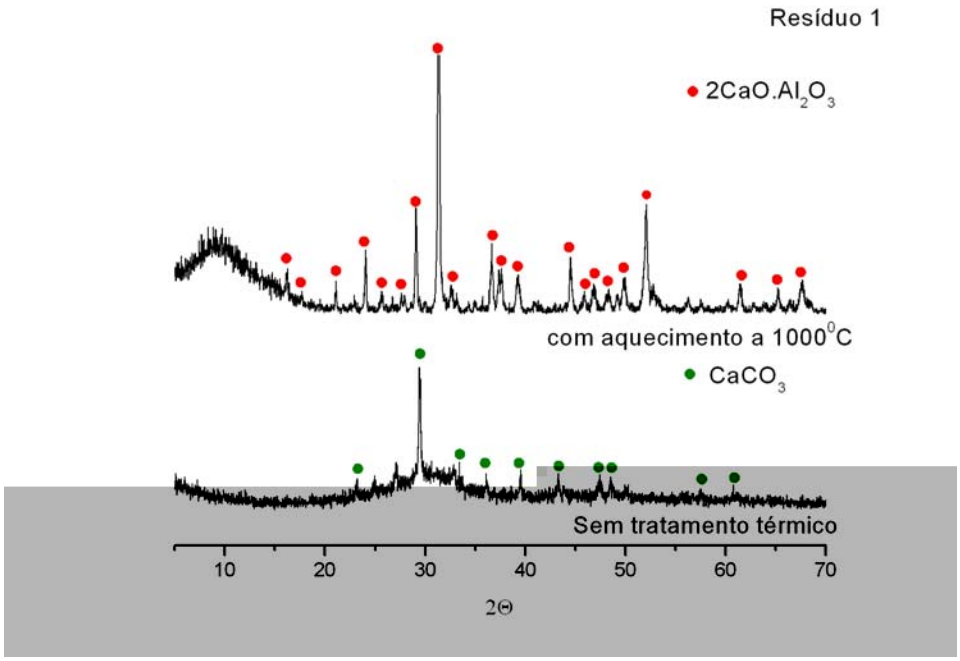

Figura 4.3 - Difratograma do resíduo 1 (EAF).

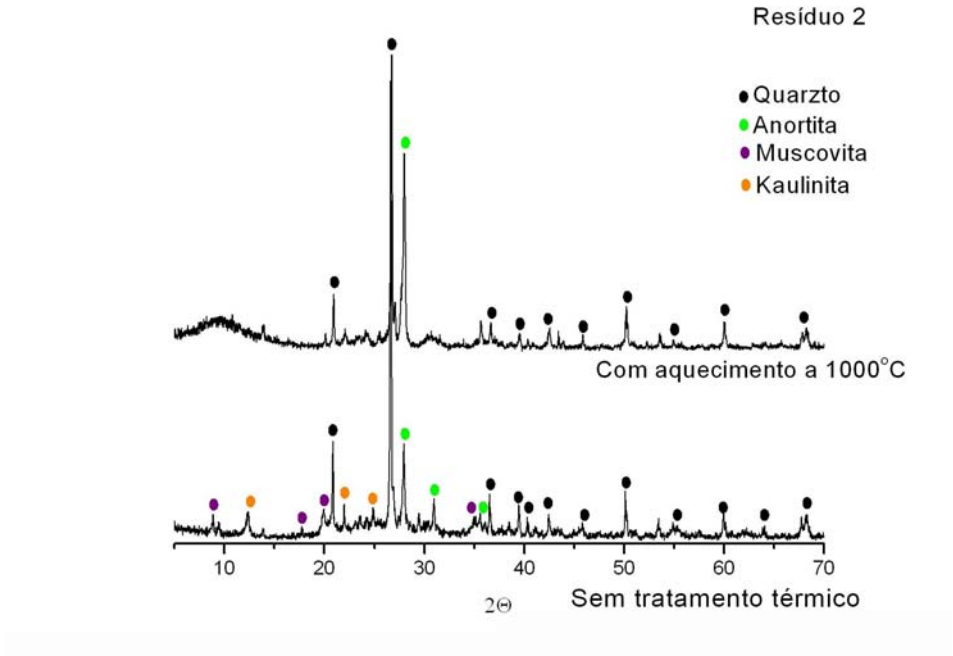

Figura 4.4 - Difratograma do resíduo 2 (LP).

A Figura 4.4 mostra que a LP apresenta várias fases cristalinas como: os argilominerais caulinita, muscovita-ilita, e outras fases como o quartzo e a anortita que são fases cristalinas tipicamente encontradas nas matérias-primas utilizadas pelas indústrias cerâmicas.

Este resíduo quando tratado termicamente a 1000°C por duas horas, apresenta vários picos característicos do quartzo e apenas um característico da anortita. Todos os argilominerais presentes no resíduo desapareceram quando o mesmo foi aquecido até 1000°C, isto aconteceu porque estas fases já se encontravam decompostas, o que reforça a idéia que a temperatura ambiente existe a presença destes argilominerais.

O resíduo 3 (V), como já era esperado, não apresenta nenhuma fase cristalina, uma vez que se refere ao vidro reciclado e moído e ainda apresenta um hallo amorfo entre 15° até 38° aproximadamente. O difratograma apresentado na Figura 4.5 é característico de materiais vítreos com altos teores de óxidos fundentes.

O mesmo resíduo quando tratado termicamente a 1000°C apresentou apenas silicato de sódio como única fase cristalina identificada e também uma grande parcela amorfa, o que já era esperado, mostrando tratar-se de vidro de elevada estabilidade.

Diferentes dos demais resíduos estudados, a LE apresenta várias fases cristalinas, sendo que aparece neste difratograma alguns argilominerais como a caulinita, muscovita-ilita e também a albita o quartzo e o anortoclásio desordenado. A LE e a LP apresentaram fases cristalinas semelhantes, o que já era esperado, pois são provenientes do mesmo tipo de indústria, a de revestimento cerâmico

O mesmo resíduo quando tratado termicamente a 1000°C, apresenta apenas o quartzo e a anortita. Os vários picos referentes aos argilominerais citados na difratograma do resíduo sem tratamento desapareceram, pois a temperatura de 1000°C, os mesmos já se encontram decompostos, o que evidencia a presença destes.O difratograma deste resíduo pode ser observado na Figura 4.6.

A Figura 4.7 apresenta o difratograma do resíduo 5 (M), na temperatura ambiente e com tratamento térmico a 1000°C. As fases identificadas a temperatura ambiente e na calcinação são semelhantes aquelas identificadas no resíduo1 e no resíduo 3. Acontece também o surgimento do hallo amorfo entre 15° até aproximadamente 38°, isto já era esperado já que em sua composição o resíduo 5 apresenta 50% em peso de vidro moído que é o resíduo 3.

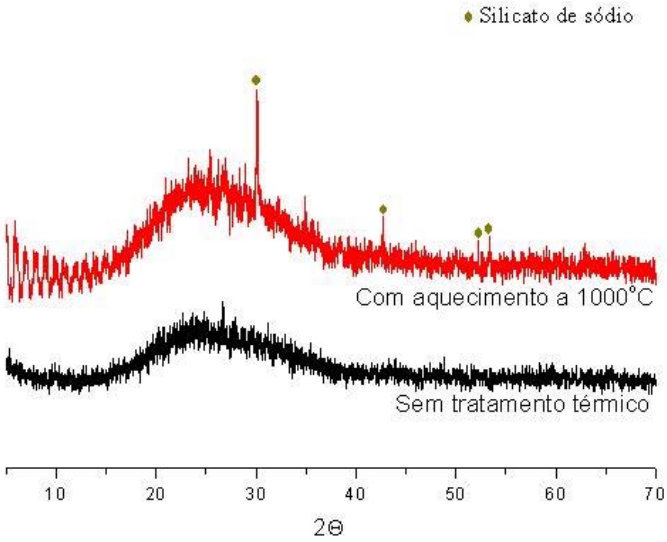

Figura 4.5 - Difratograma do resíduo 3 (V).

Os resíduos utilizados para a incorporação são bastantes estáveis do ponto de vista das fases presentes. Na EAF, V e M existe a presença da fase vítrea e estas fases permanecem iguais mesmo com aquecimento a 1000°C. Estes resíduos resultam na incorporação direta da fase vítrea. Por outro lado, os resíduos 2 e 4 são formados predominantemente por fases cristalinas.

No difratograma do resíduo 1 foi detectado a presença de carbonato de cálcio e a presença deste sal inorgânico pode ser prejudicial ao meio ambiente, uma vez que pode existir a emissão de voláteis. Para verificar se este fato ocorre ou não, posteriormente será comentado a análise realizada para quantificar a emissão dos gases voláteis durante o processo de sinterização. Nos outros difratogramas não foi observado a presença de qualquer tipo de carbonatos.

A principal variação observada nestes difratogramas se refere a decomposição dos argilominerais.

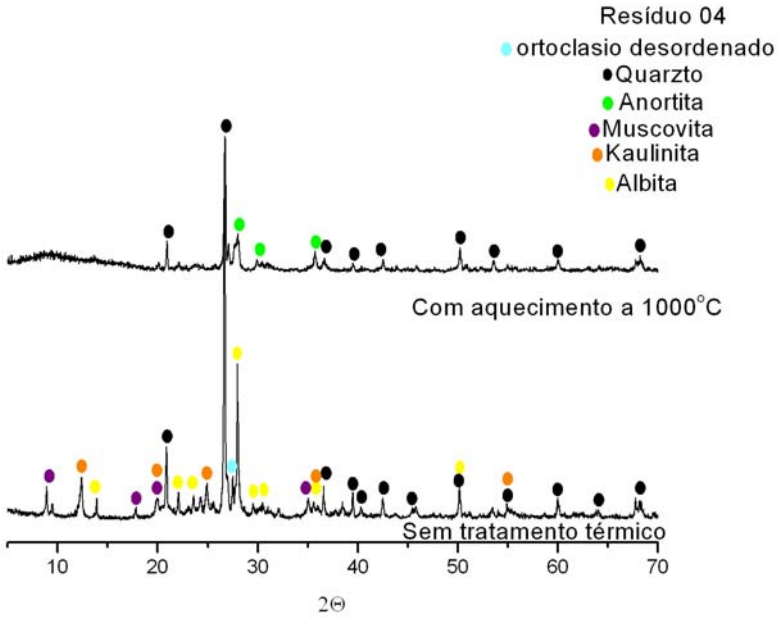

Figura 4.6 - Figura Difratograma do resíduo 4 (LE).

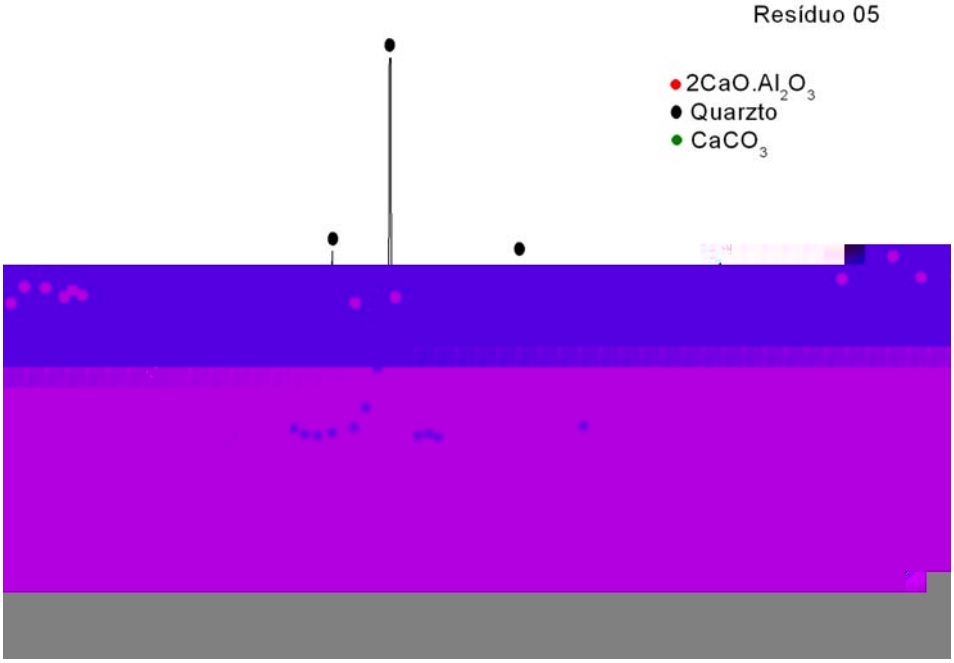

Figura 4.7 - Difratograma do resíduo 5 (M).

4.3 Caracterização térmica

Foram obtidas curvas de análise térmica diferencial (ATD) e análise termogravimétrica (TG) tanto para as argilas quanto para os resíduos. Estas curvas procuraram mostrar o comportamento dos materiais com o aumento da temperatura.

4.3.1 Caracterização térmica das argilas

Para cada uma das duas argilas estudadas foram realizados os ensaios de ATD e TG. A Figura 4.8 apresenta a curva de TG para argila D e H e a Figura 4.9 apresenta a ATD para a argila D e H. Esta forma de apresentar esses resultados foi feita para que fosse possível fazer a comparação entre as argilas D e H.

A curva de análise termogravimétrica, Figura 4.8, mostrou que as duas argilas apresentam três intervalos associados à perda de massa. O primeiro está associado à perda de água livre, sendo que isto aconteceu até aproximadamente 120°C, essa perda refere-se à umidade que toda argila possui. Já entre 120°C a 450°C ocorrem as reações de oxidação da matéria orgânica. Entre 450°C e 600°C ocorrem as reações de decomposição dos argilominerais. Acima desta temperatura não ocorreu perda de massa.

Comparando as duas curvas, observa-se que o maior diferencial entre estas argilas está na maior perda de massa decorrente da decomposição de argilominerais apresentado pela argila D, o que é um forte argumento para afirmar que essa argila apresenta maior teor de argilomineral e conseqüentemente deve ser uma argila que apresenta maior plasticidade, sendo empregada como matéria- prima ideal para favorecer o processo de conformação.

A argila D apresenta perda de massa de aproximadamente 12%. Já a Argila H, por sua vez, apresenta perda de massa de aproximadamente 9%. Estes resultados coincidem com os obtidos da análise química apresentada na Tabela 4.1. O fato de que a argila D possui uma maior perda de massa confirma novamente a idéia de que nesta argila existe uma maior concentração de argilominerais.

Na curva de análise térmica diferencial, Figura 4.9, os principais eventos identificados para as duas argilas são a decomposição dos argilominerais em temperatura próxima a 500°C e a formação de mulita em temperatura próxima a 980°C. Estas curvas são típicas e características de argilas cauliníticas.

É importante destacar que para as duas argilas, o pico exotérmico identificado por ATD em temperatura próxima a 950°C é característico da formação de mulita.

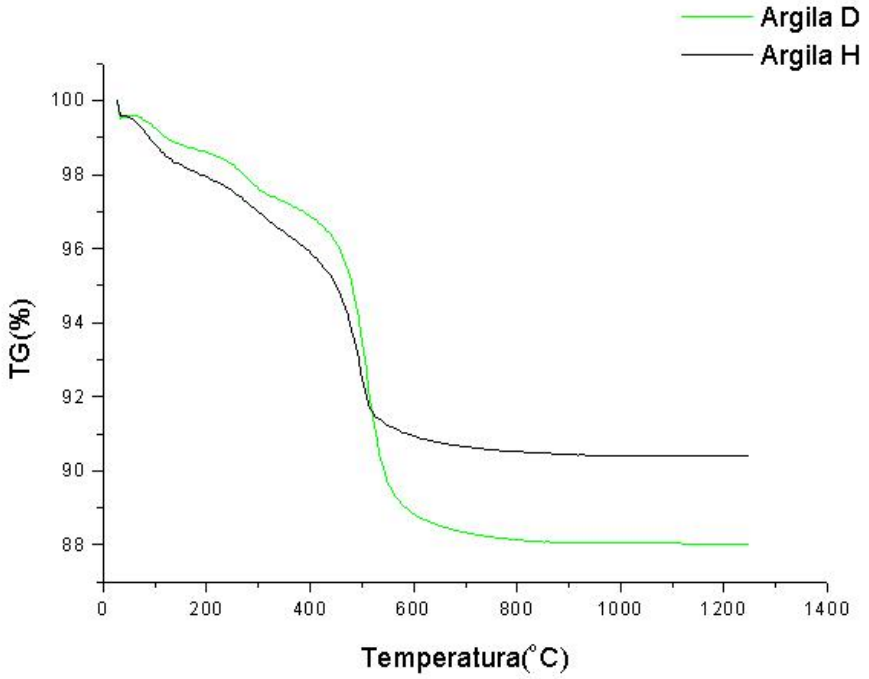

Figura 4.8 - Curva de análise termogravimétrica das argilas D e H.

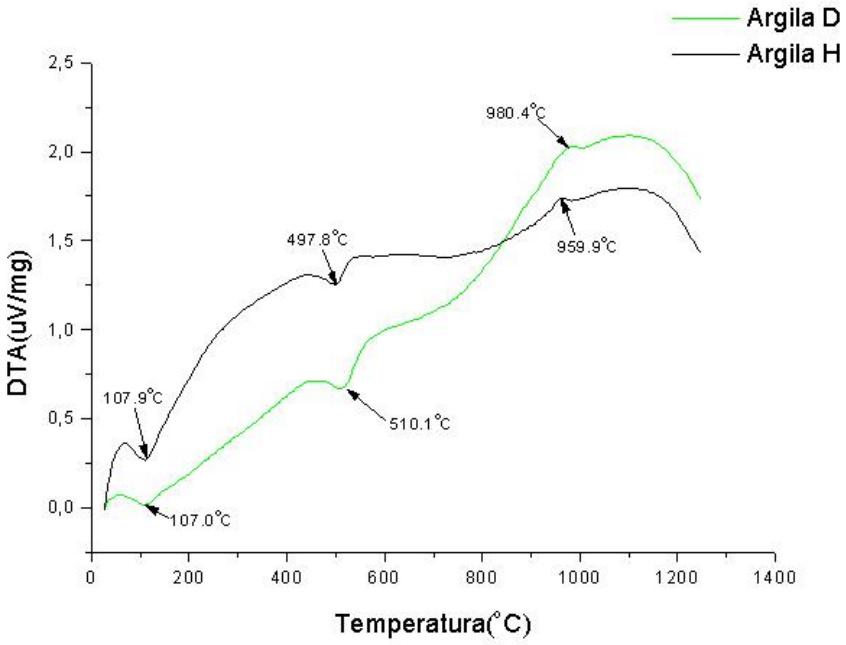

Figura 4.9 -Curva da ATD das argilas D e H.

4.3.2 Caracterização térmica dos resíduos

A caracterização térmica dos resíduos EAF, LP, V,LE e M foi realizada da mesma forma que para a argilas, englobando as curvas de ATD e TG destes resíduos industriais. A Figura 4.10 e a Figura 4.11 se referem as curvas de ATD e TG da EAF usando atmosfera oxidante e inerte respectivamente. Já A Figura 4.12 apresenta as curvas de ATD e TG para a LP. As curvas em verde representam a ATD de cada resíduo e as curvas em preto se referem a TG de cada resíduo.

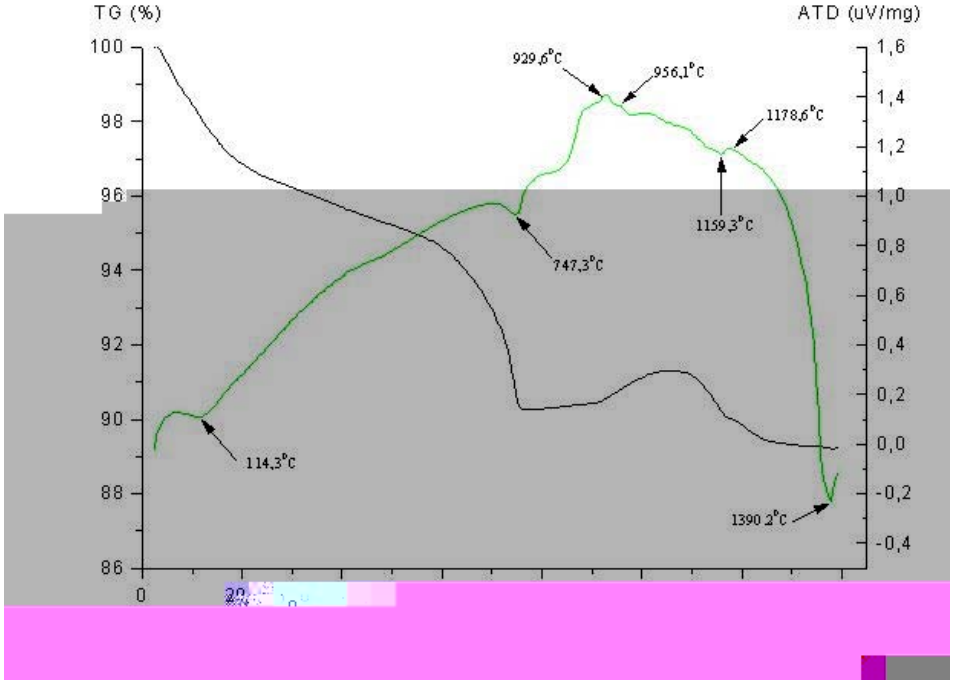

Figura 4.10 - Curva de ATD e TG da EAF com atmosfera oxidante.

A Figura 4.10 mostra que existe uma perda de massa acentuada entre 200°C e 750°C e um ganho de massa no intervalo entre 950°C e 1070°C. A perda de massa está associada à decomposição de constituintes da escória de alto-forno.

Já a curva de ATD,(Figura 4.10) é caracterizada por picos característicos da decomposição do $CaCO_3$ entre 920 e 1180°C e também por um pico endotérmico de fusão a 1390,2 ^{o}C.

O ganho de massa está associado a alguma reação de oxidação que aconteceu devido à forma em que foi realizado o ensaio, onde a atmosfera utilizada era o ar e portanto oxidante.

Fato este comprovado quando se realizou o ensaio com atmosfera inerte, gás argônio. Na Figura 4.11, percebe-se que na curva de TG não ocorreu o ganho de massa, já que não existe oxigênio livre para que ocorra a reação de oxidação.

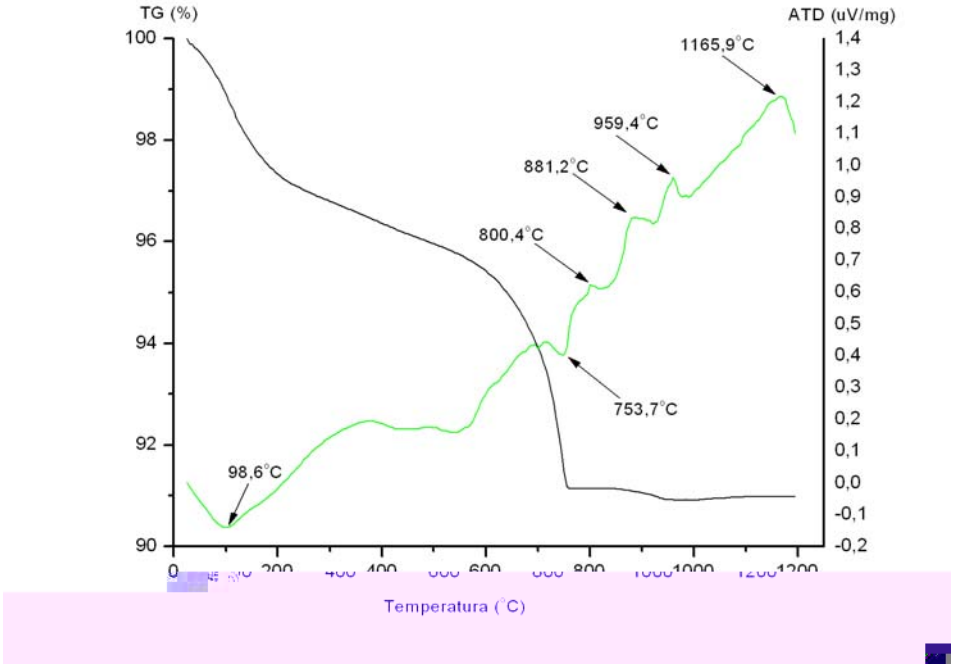

Figura 4.11 - Curva de ATD e TG da EAF com atmosfera inerte.

A Figura 4.12 mostra que, para o resíduo 2, existe a maior perda de massa entre 200°C e 700°C, referente à desidroxilação de algum hidróxido e/ou decomposição da matéria orgânica. Acima de 700°C não houve perda de massa significativa.

Já a curva de ATD deste resíduo mostra que, como o resíduo deriva de uma indústria cerâmica, espera-se encontrar no mesmo uma parcela de argilominerais e isto acontece, pois os picos exotérmicos encontrados, entre 400 e 600 °C são referentes a perda de água constitucional presente nos argilominerais. Outro pico exotérmico aparece em 1004,1°C, referente a formação de espinélios que podem dar origem a mulita.

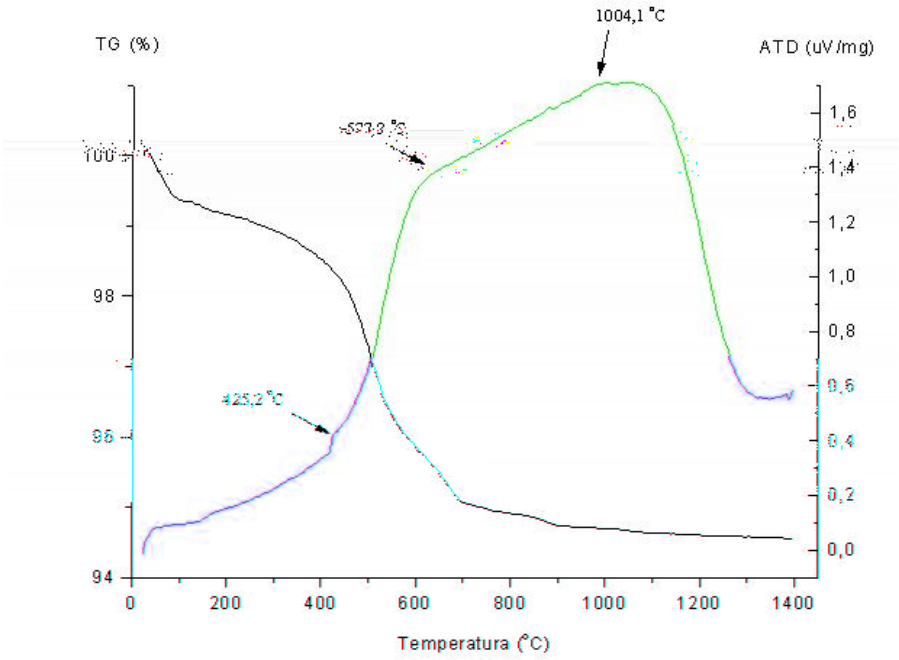

Figura 4.12 - Curva de ATD e TG da LP.

A Figura 4.13 refere-se à curva de ATD e TG do resíduo 3 (V) e mostra que existe uma perda de massa entre 200°C e 700°C, na ordem de 0,06 %, uma vez que neste intervalo acontecem as reações de oxidação e eliminação da matéria orgânica juntamente com a desidroxilação ou decomposição de alguns constituintes do vidro. Isto é comprovado pela ausência de perda ao fogo deste, apresentada na Tabela 4.2.

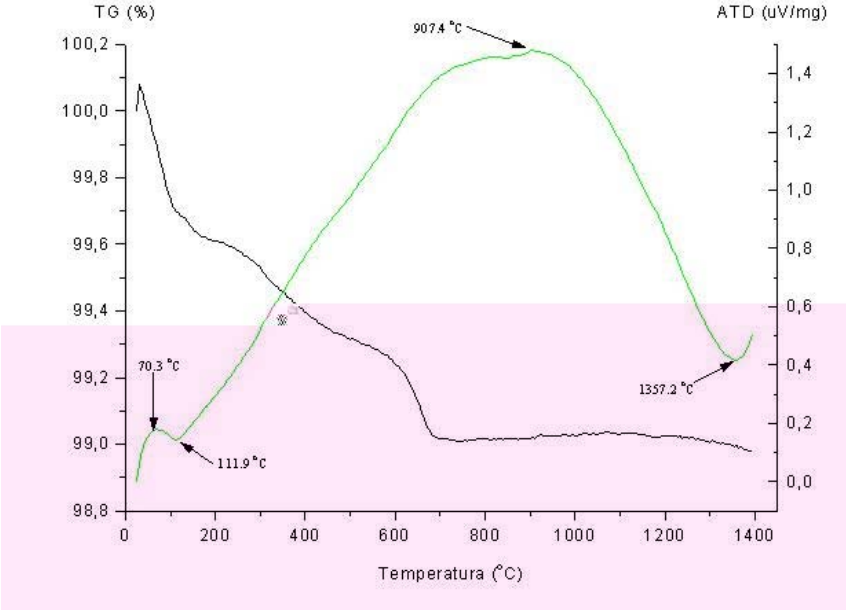

Figura 4.13 - Curva de ATD e TG do V.

O comportamento da curva de ATD deste resíduo é caracterizado por um outro pico exotérmico a 907,4°C característico da cristalização deste vidro e também pelo aparecimento de um pico endotérmico das fases cristalinas a 1357,2°C.

A Figura 4.14 refere-se à curva ATD e TG do resíduo 4 (LE), mostra que existe a maior perda de massa entre 200°C e 700°C, referente a desidroxilação de algum hidróxido e/ou decomposição da matéria orgânica. Este comportamento também foi observado na Figura 4.11 que refere-se ao resíduo 2 e isso acontece, já que os dois resíduos provêm de indústrias de revestimentos cerâmicos.

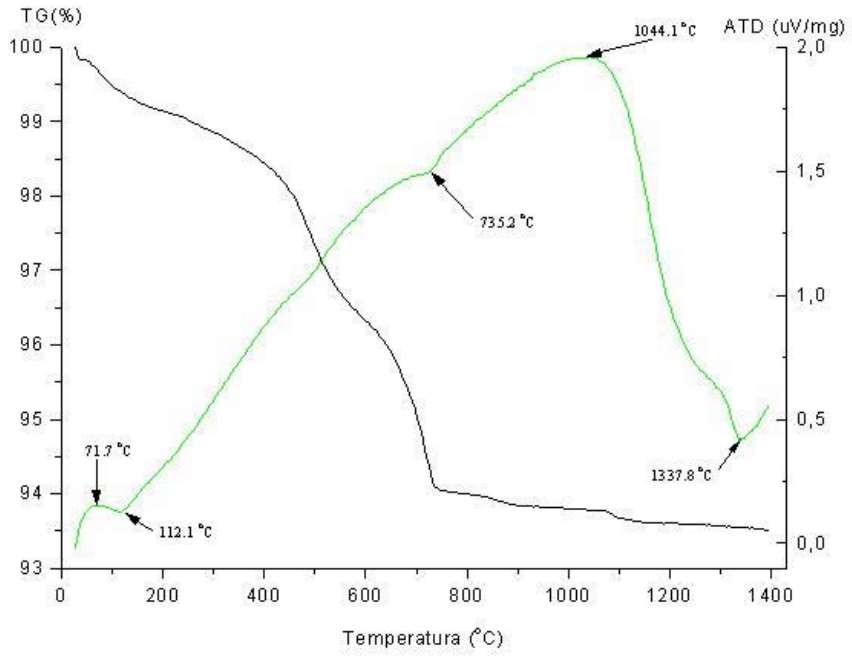

Figura 4.14 - Curva de ATD e TG da LE.

O comportamento da curva de ATD deste resíduo é similar ao da LP, com a diferença de que neste resíduo consegue-se visualizar um pico endotérmico em 1337,8°C referente a fusão deste material.

Portanto como a LE apresenta uma caracterização química, mineralógica e térmica semelhante a LP, o mesmo foi descartado. A partir desta etapa do trabalho os resíduos usados para formulação das massas cerâmicas e posteriormente avaliação das propriedades tecnológicas são a EAF, LP, V e M como já foi mencionado anteriormente nos materiais e métodos.

A Figura 4.15 refere-se a curva de ATD e TG do resíduo 5 e mostrou-se bastante semelhante ao comportamento apresentado pela EAF, (Figura 4.10), apresentando também um ganho de massa. O motivo pelo qual isto ocorreu é semelhante aquele já mencionado na discussão da Figura 4.11. Os eventos encontradas na curva de ATD também foram semelhantes aos apresentados pela EAF e o V, (Figura 4.13), já que o resíduo 5 (M) é a junção de 50% em peso da EAF com 50% em peso do V.

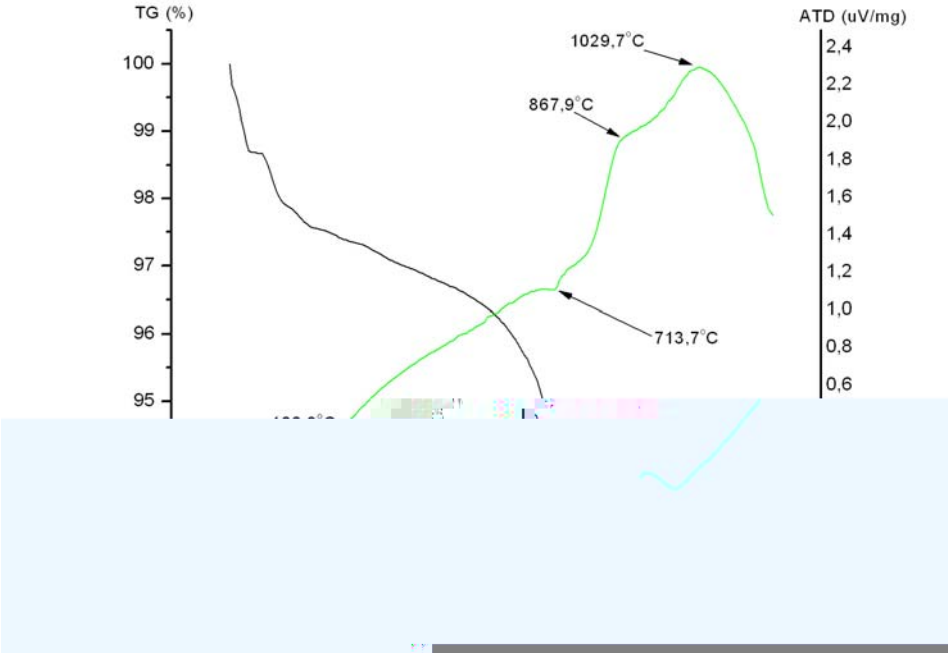

Figura 4.15 - Curva de ATD e TG da M.

4.4 Avaliações das propriedades tecnológicas

As propriedades tecnológicas avaliadas nesta pesquisa foram a retração linear, absorção de água, densidade aparente e tensão de ruptura. As formulações com a incorporação da EAF, LP, V e M tiveram estas propriedades avaliadas e comparadas com a formulação que não possuia nenhuma incorporação de resíduo. Esta comparação foi realizada para verificar se a adição de resíduos industriais melhoraria as propriedades dos tijolos cerâmicos produzidos.

4.4.1 Retração linear e absorção de água

A avaliação da retração linear e da absorção de água foi feita através da construção de uma curva de gresificação. Onde foi observado o comportamento destas duas propriedades nas formulações propostas com o aumento da temperatura de sinterização. Para melhor entendimento nas Figuras 16 a 19, as curvas em azul referem-se à absorção de água e as curvas e preto referem-se a retração linear.

As temperaturas usadas foram parecidas com aquelas usadas nas olarias chegando a um valor máximo de 1100°C. A Figura 4.16a refere-se à absorção de água e retração linear da argila D. As Figuras 4.16b, 4.16c e 4.16d se referem respectivamente às incorporações de 10, 20 e 30% do resíduo 1 (escória de alto-forno) na argila D.

O comportamento da argila D, Figura 4.16a, já era esperado porque com o aumento da temperatura a absorção de água diminuiu e por sua vez, a retração linear aumentou. O menor valor encontrado para a absorção foi de aproximadamente 25%, enquanto a retração chegou a 2,5%. A alta absorção de água desta argila e baixa retração linear é proveniente da ineficiência do processo de sinterização.

A alta absorção de água e baixa retração linear são decorrentes do alto nível de porosidade, acarretando desta forma, infiltração de água, que contribui para a redução da resistência mecânica. Além disso essa característica aumenta as chances de acontecer os efeitos de eflorescência.

Contudo em alguns casos, como na fabricação de tijolos, a elevada porosidade pode ser benéfica, já que se consegue uma boa aderência com a argamassa e torna-se possível produzir peças cerâmicas menos densas

As Figura 4.16b, 4.16c e 4.16d demostram que a incorporação do resíduo 1 (EAF) na argila D fornece próximo a 1050°C uma expansão, prejudicial as propriedades dos tijolos produzidos. Outro fato interessante mostrado nestas Figuras revela que o aumento da incorporação não diminui significativamente a absorção de água, por exemplo, com a incorporação de 30% o valor da absorção de água foi de 24,5 % e com a incorporação de 20% esse valor chegou a 25,5% demontrando que a escória de alto-forno não é dentre aqueles resíduos utilizados, o mais adequado para melhorar as propriedades tecnologicas dos tijlolos produzidos.

Quando se incorpora 30 % deste resíduo, Figura 4.16d, percebe-se que ocorre um aumento na absorção de água, este aumento pode ser explicado pelo aparecimento de trincas internas decorrentes do grande teor de incorporação deste resíduo.

Esse efeito de expansão foi também detectado quando foi realizado a análise térmica deste resíduo, o que restringe um pouco o uso deste resíduo como fonte alternativa viável para a fabricação de tijolos, mas mesmo com essa expansão os valores de absorção de água e de retração linear são melhores daqueles encontrados na argila pura, mostrando que a incorporação é satisfatória.

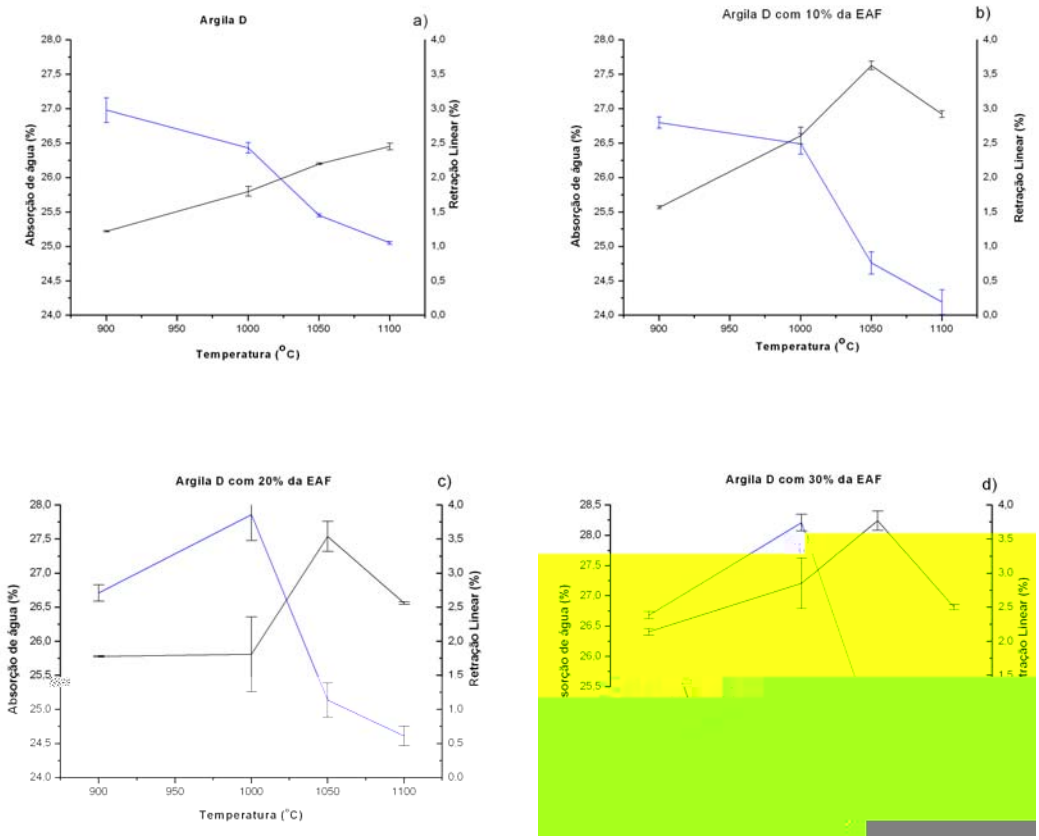

Figura 4.16 - Curvas de gresificação **a)** Argila D pura; **b)** Argila D + 10% da EAF; **c)** Argila D + 20% da EAF e **d)** Argila D +30% da EAF.

A curva de gresificação da argila D, pode ser novamente observada na Figura 4.17a para comparar, os resultados obtidos pela incorporação do resíduo 2 (LP), (resíduo da industria de revestimentos cerâmicos), nesta argila. Tais incorporações podem ser observadas nas Figuras 4.17b, 4.17c e 4.17d e se referem a incorporação de 10, 20 e 30% respectivamente.

A incorporação da LP foi semelhantes nos três casos, com 10, 20 e 30%. O aumento no teor de resíduo resulta no aumento da retração linear e na redução da absorção

de água. Esses fatos mostram que o resíduo possui uma contribuição significativa na eficiência do processo de sinterização do material.

Os melhores resultados da adição da LP foram encontrados na incorporação de 30% deste e na temperatura de 1100°C onde aconteceu a melhor densificação do material.

Entretanto esta incorporação retarda um pouco o início do processo de sinterização, visto que as curvas apresentadas nas Figuras 4.17b, 4.17c e 4.17d são menos inclinadas (possuem coeficientes angulares menores) do que a curva da Figura 4.17a referente à argila sem incorporação de resíduo. Este retardo causa ainda o estreitamento do intervalo de temperatura em que a sinterização deve ocorrer.

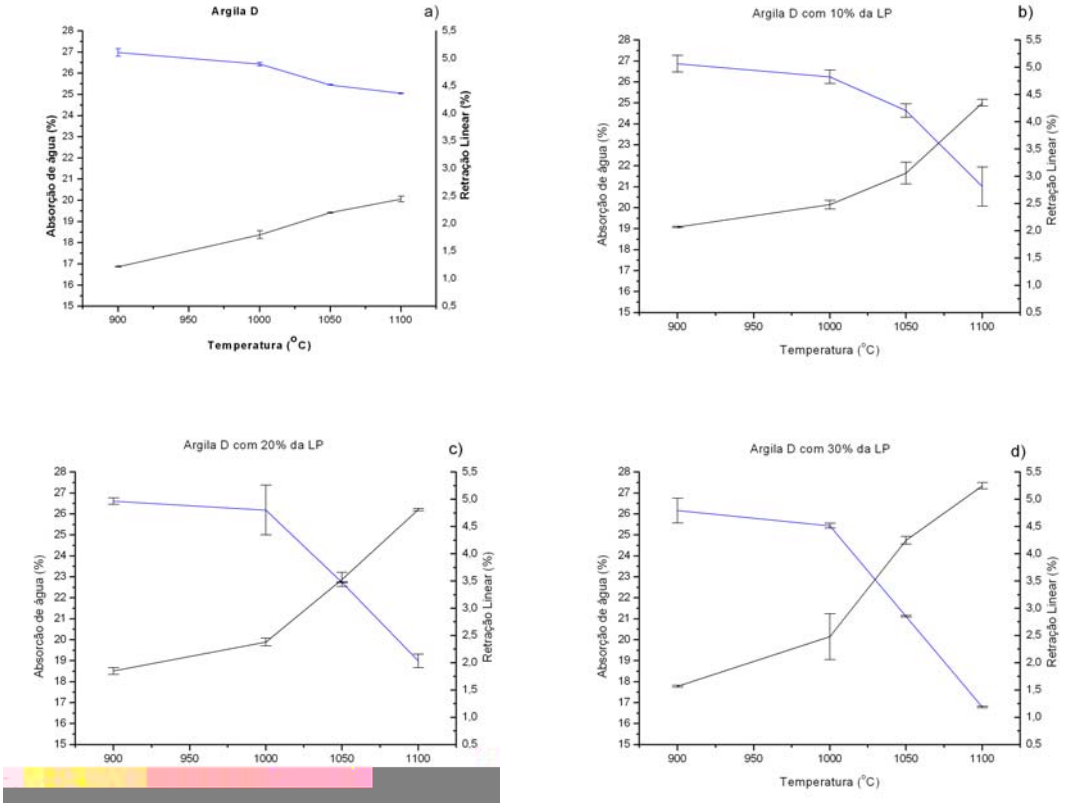

Figura 4.17 - Curvas de gresificação **a)** Argila D pura; **b)** Argila D + 10% da LP; **c)** Argila D + 20% da LP e **d)** Argila D +30% da LP.

A curva de gresificação da argila D pura está representada na Figura 4.18a e as Figuras 4.18b, 4.18c e 4.18d correspondem a incorporação do resíduo 3 (V), (vidro reciclado e moído), com 10, 20 e 30% respectivamente.

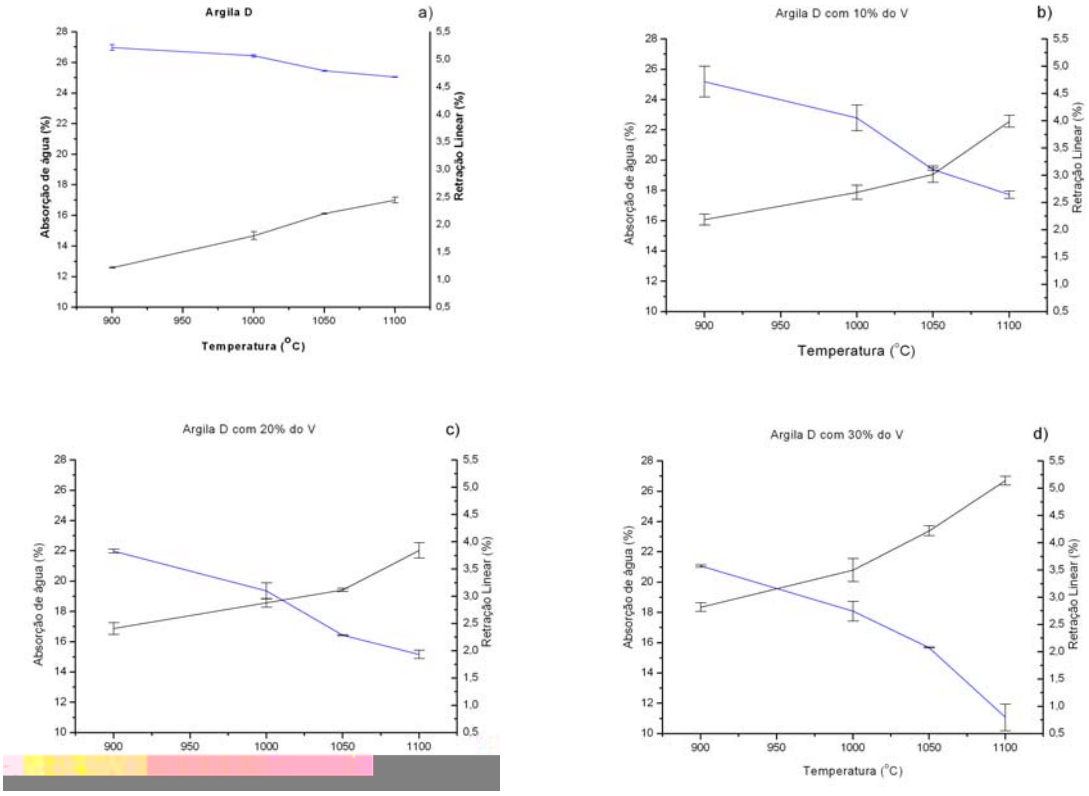

Figura 4.18 - Curvas de gresificação **a)** Argila D pura; **b)** Argila D + 10% do V; **c)** Argila D + 20% do V e **d)** Argila D +30% do V.

As Figuras 4.18b, 4.18c e 4.18d mostram que mesmo a 900°C, o processo de sinterização já havia ocorrido, pois os valores obtidos de retração linear para todas as incorporações à 900°C são superiores ao valor desta propriedade para argila pura. A incorporação do V apresentou os melhores resultados de absorção de água e retração linear dentre todos os resíduos utilizados. A absorção de água chegou com 30% de incorporação a aprioximadamente 11% e a retração com esta mesma incorporação e mesma temperatura chegou a aproximadamente 5,2%. Esses resultados podem ser provenientes da composição química do resíduo 3, já que o mesmo possui uma enorme capacidade de formação de fase líquida, o que preenche uma quantidade significativa de poros abertos e consequentemente reduz a absorção de água. A retração linear maior identifica que o processo de sinterização aconteceu com mais eficiência.

As curvas de gresificação do V apresentaram o mesmo comportamento daquelas mostradas na incorporação da LP, (Figuras 4.17b, 4.17c e 4.17d), onde a absorção diminuiu com o aumento do teor de resíduo e com o aumento da temperatura. Já com a retração linear aconteceu o contrário, com o aumento do teor de resíduo e com o aumento da temperatura esta propriedade também aumentou.

A curva de gresificação da argila D pura, novamente está representada na Figura 4.19a para melhor comparação entre os resultados obtidos. Já as Figuras 4.19b, 4.19c e 4.19d correspondem à incorporação do resíduo 5, (50% do resíduo 1 + 50% do resíduo 3) com 10, 20 e 30% respectivamente.

As Figura 4.19b, 4.19c e 4.19d mostraram que o resíduo 5, (M), da mesma forma que o resíduo 3 apresentou valores de retração superiores o da argila pura, mostrando novamente que o processo de sinterização já havia começado antes mesmo da temperatura de 900°C. Isto ocorre já que a M apresenta em sua composição 50% em peso do V.

As curvas de absorção de água possuem comportamento diferente daquelas apresentadas pelos resíduos 1, (EAF), e semelhantes àquelas apresentadas pelo resíduo 3, (V), demontrando que o resíduo 3 possui um maior influência nas propriedades tecnológicas do material que está sendo fabricado mesmo que este resíduo esteja combinado com o resíduo 1.

As incorporações de 10 e 20%, (Figuras 4.19b e 4.19c), mostraram que a retração linear foi maior na temperatura de 1050°C, diferente da incorporação de 30%, (Figura 4.19d), que apresentou o maior valor para esta propriedade a 1100°C. Esse fato pode ser explicado pela presença da expansão na EAF e consequentemente na M. Para a M também foi encontrado na ánalise térmica o aparecimento de um ganho de massa próxima a temperatuara de 1000°C. A Figura 4.19d mostrou que a maior quantidade acrescentada do V (aproximadamente 15%), favorece com mais eficiência o processo de sinterização e consequentemente aumenta linearmente a retração linear.

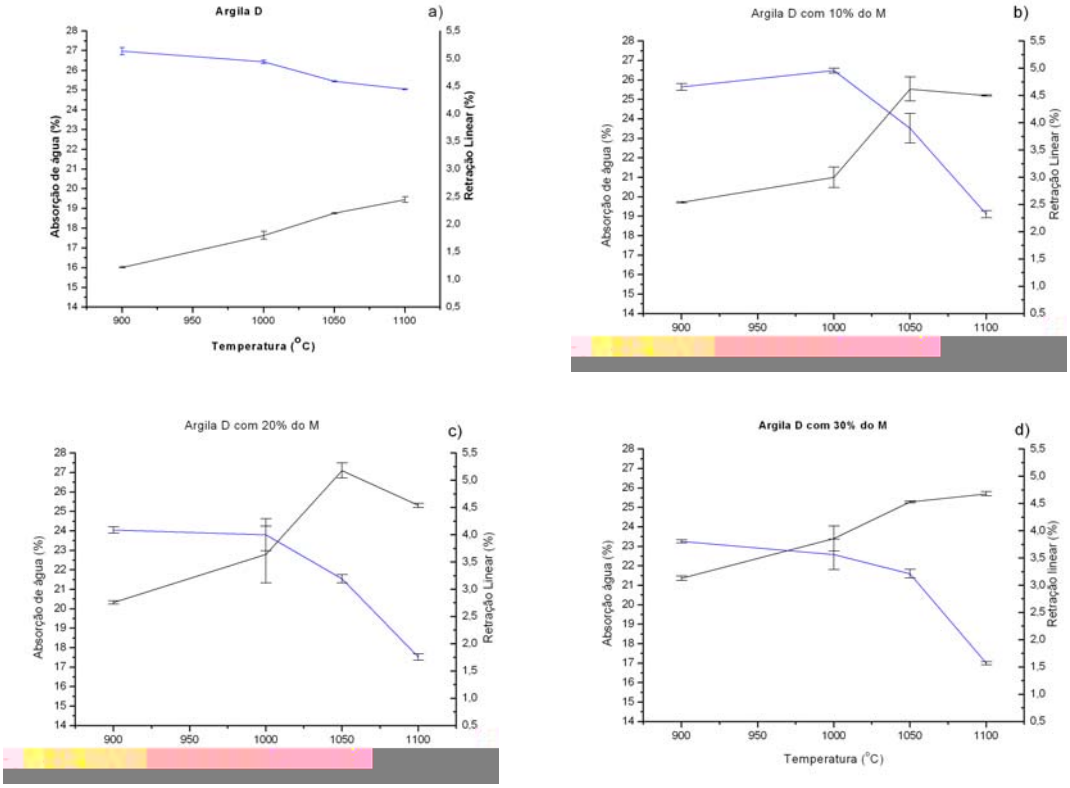

Figura 4.19 - Curvas de gresificação **a)** Argila D pura; **b)** Argila D + 10% da M; **c)** Argila D + 20% da M e **d)** Argila D +30% da M.

4.4.2 Densidade aparente e tensão de ruptura

A outra parte da avalição das propriedades tecnológicas diz respeito a densidade aparente e tensão de ruptura. Essas duas propriedades foram avaliadas nas misturas propostas e colocadas em um mesmo gráfico. Foram então comparadas com estas propriedades da argila D pura. Para melhor entendimento nas Figuras 20 a 23, as curvas em azul referem-se a tensão de ruptura e as curvas em preto referem-se a densidade aparente.

A densidade aparente e a tensão de ruptura da argila D pode ser observada na Figura 4.20a e as Figuras 4.20b, 4.20c e 4.20d se referem a estas duas propriedades com adição na argila D de 10, 20 e 30% da EAF respectivamente.

A Figura 4.20a mostra que a argila D obteve maior tensão de ruptura na temperatura de 1100°C, como já era esperado, pois é nesta temperatura que acontece uma maior formação de fase líquida e conseqüentemente maior densificação do material. Porém a densidade aparente atingiu seu maior valor a 1000°C, seguido de perto pelo resultado

obtido a 1100°C. Este fato é decorrente da grande dispersão de resultados que existem em cerâmica, já que se pode observar nesta mesma Figura, que os desvios padrões são considerados altos.

Figura 4.20 - Densidade aparente e tensão de ruptura da **a)** Argila D pura; **b)** Argila D + 10% da EAF; **c)** Argila D + 20% da EAF e **d)** Argila D +30% da EAF.

As Figuras 4.20b, 4.20c e 4.20d mostraram que a incorporação da EAF na argila D se mostrou semelhante nos três casos de incorporação. A maior densificação e maior tensão de ruptura aconteceram inesperadamente a 1050°C. Este fato pode ser decorrente do aparecimento do ganho de massa (expansão) observado na análise térmica deste resíduo 1. Essa expansão aconteceu no intervalo de 1000 a 1150°C. O aparecimento desta expansão pode gerar trincas internas que diminuem a resistência mecânica do maTw(D, prejud(nine do)]TJJ18.513

A densidade aparente e a tensão de ruptura da argila D posse ser observada na Figura 4.21a e as Figuras 4.21b, 4.21c e 4.21d se referem a estas duas propriedades com adição na argila D de 10, 20 e 30% da LP, respectivamente.

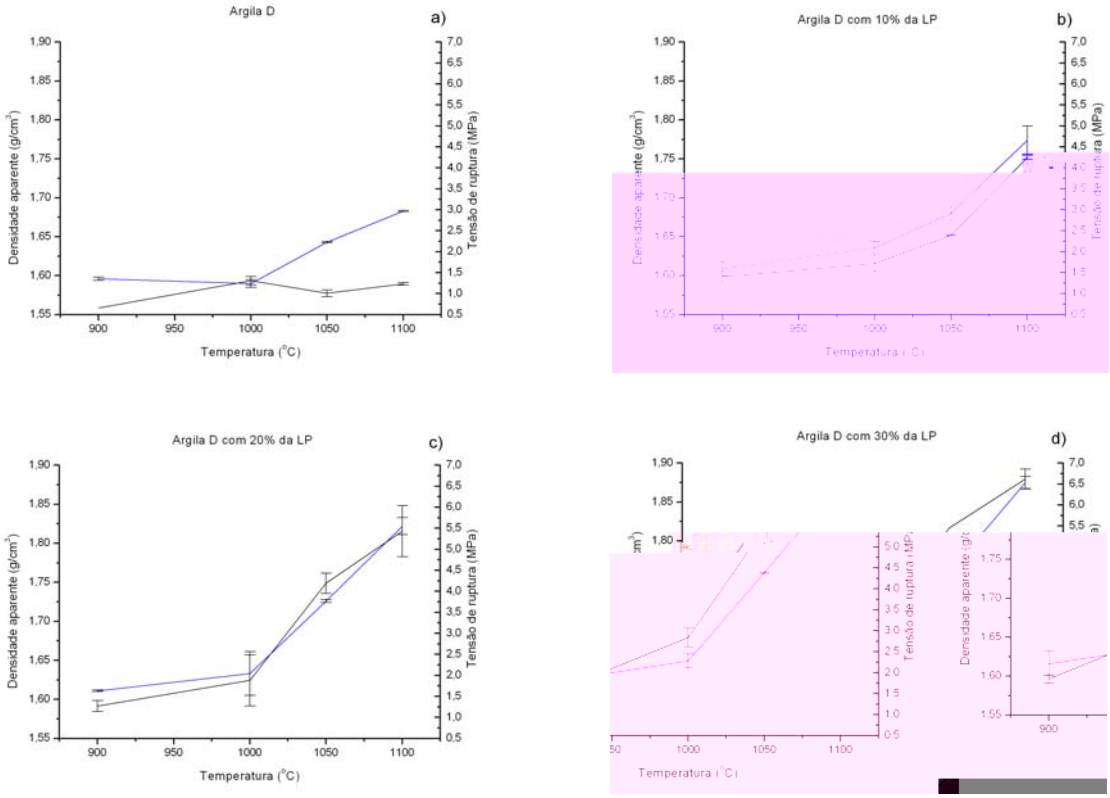

Figura 4.21 - Densidade aparente e tensão de ruptura da **a)** Argila D pura; **b)** Argila D + 10% da LP; **c)** Argila D + 20% da LP e **d)** Argila D +30% da LP.

As Figuras 4.21b, 4.21c e 4.21d mostraram que a incorporação da LP na argila D se mostrou semelhante nos três casos de incorporação. A maior densificação e maior tensão de ruptura aconteceram como esperado a 1100°C. Na medida que a temperatura aumentou essas duas propriedades aumentaram.

O comportamento das curvas com a incorporação do resíduo 2 é diferente do apresentado pela argila pura. Tratando-se especificamente da tensão de ruptura, é possível observar que o perfil da curva da argila D é mais inclinado, ou seja, torna-se complicado de se conseguir um controle de processo efetivo, porque o processo de sinterização acontece mais rapidamente. As curvas da incorporações de 10, 20 e 30% (Figuras 4.21b, 4.21c e 4.21d) mostram que o processo de sinterização acontece em um intervalo maior de

temperatura, pois as curvas possuem coeficientes angulares menores. Este fato é interessante, pois é possível realizar um controle de processo de fabricação mais efetivo.

A medida que foi adicionado uma maior quantidade do resíduo 2 observou-se que as duas propriedades avaliadas em questão tiveram seus valores aumentados consideravelmente. Este fato reforça a idéia de que o resíduo 2 desempenha papel fundamental no processo de sinterização dos materiais.

A densidade aparente atingida para adição de 30% deste resíduo foi de aproximadamente 1,90 g/cm^3 enquanto para a argila pura foi de aproximadamente 1,60 g/cm^3, demonstrando que a densificação do material foi mais efetiva uma vez este resíduo possui uma maior quantidade em sua composição química de óxidos fundentes como o Na_2O e o K_2O que auxiliam na formação da fase líquida e conseqüentemente ajudam no processo de densificação do material.

Da mesma forma que o resíduo 2, a incorporação do resíduo 3 (V) foi semelhante nos três casos desta incorporação (Figuras 4.22b, 4.22c e 4.22d) quando comparados com os resultados obtidos pela argila D, (Figura 4.22a). A tensão e a densidade aumentaram com o aumento da temperatura, o que já era esperado, uma vez que este resíduo se alude ao vidro reciclado e moído e possui em sua composição óxidos fundentes como o Na_2O e o K_2O que auxiliam na formação da fase líquida e conseqüentemente ajudam no processo de densificação do material.

Os valores atingidos para a densidade aparente e tensão de ruptura deste resíduo foram os mais altos quando comparados com os demais resíduos estudados. A Figura 4.22d mostra que o maior valor de tensão de ruptura e de densidade aparente para este resíduo aconteceu na temperatura de 1100°C. Estes valores são respectivamente 7,5 MPa e 2,05 g/cm^3. A tensão de ruptura é aproximadamente quatro vezes superior àquela obtida apenas para argila pura a 1100°C.

Da mesma forma que já havia acontecido a sinterização do material em temperatura inferior a 900°C quando estava sendo avaliado a absorção de água e retração linear deste resíduo, esse fato se repete. Confirmando a explicação relatada anteriormente de que o resíduo 3 apresenta a grande capacidade de aumentar as propriedades tecnológicas mesmo em temperaturas inferiores àquelas propostas nesta pesquisa e portanto demonstra o grande potencial de reutilização desse resíduo em cerâmica vermelha.

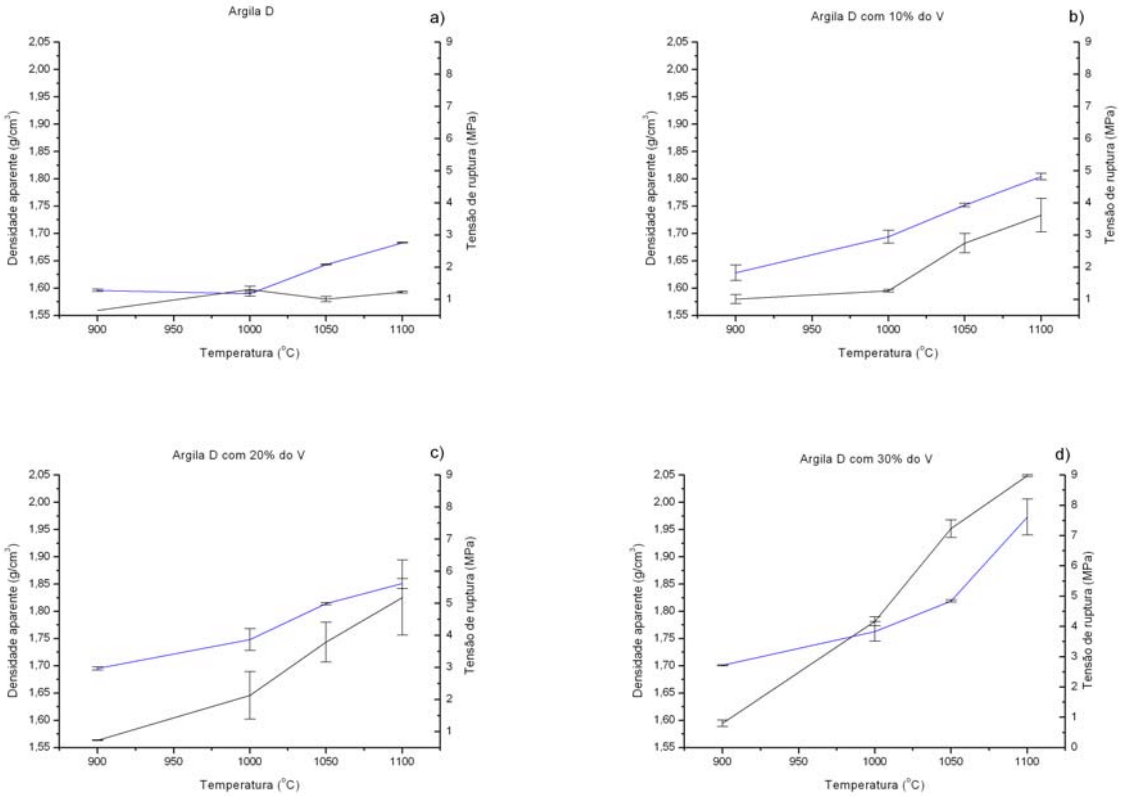

Figura 4.22 - Densidade aparente e tensão de ruptura da **a)** Argila D pura; **b)** Argila D + 10% do V; **c)** Argila D + 20% do V e **d)** Argila D +30% do V.

Para finalizar a avalição da tensão de ruptura e da densidade aparente, na Figura 4.23a pode ser visualizado o comportamento destas duas propriedades em função do aumento da temperatura para a argila D pura. Da mesma forma, as Figuras 4.23b, 4.23c e 4.23d representam a incorporação de 10, 20 e 30% do resíduo 5 (M), respectivamente.

A incorporação do resíduo 5 de 20 e 30% foi semelhante a incorporação da LP e do V, ou seja, as duas propriedades aumentaram com o aumento da temperatura, isso pode ser observado nas Figuras 4.23c e 4.23d. A Figura 4.23b mostrou novamente o mesmo problema apresentado para a incorporação da EAF. Este fato pode ser proveniente novamente da expansão existente na análise térmica da EAF e que também apareceu na análise térmica da M.

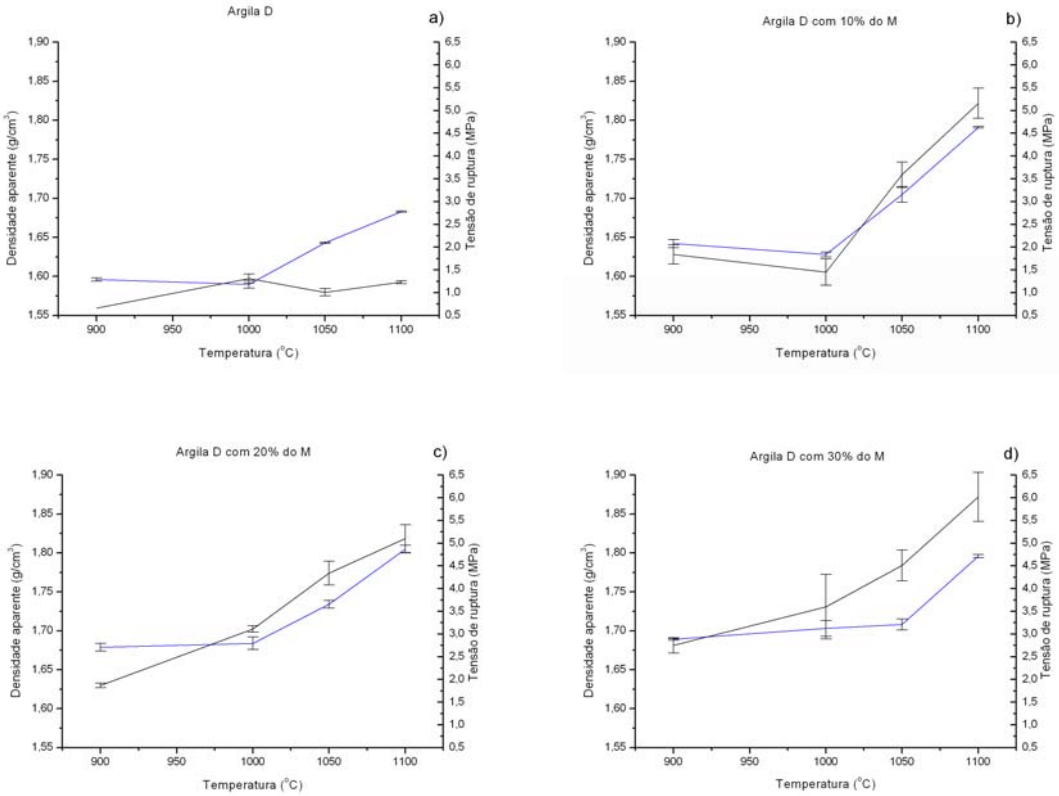

Figura 4.23 - Densidade aparente e tensão de ruptura da **a)** Argila D pura; **b)** Argila D + 10% da M; **c)** Argila D + 20% da M e **d)** Argila D +30% da M.

Contudo as densidades aparentes foram menos afetadas por esta expansão do que a absorção de água e retração linear, dado que apenas a incorporação de 10% da M mostrou a 1000°C resultados inferiores aqueles observados a 900°C.

A incorporação de 20% quando comparada com a adição de 10% deste resíduo não apresentou um aumento significativo nas propriedades analisadas, isso pode ser decorrente da utilização da EAF em sua composição; que não contribui efetivamente para um aumento das propriedades tecnológicas quando se aumeta o teor de resíduo adicionado.

Por outro lado, vale a pena ressaltar ainda que, este resíduo apresentou resultados altos para tensão de ruptura, chegando a aproximadamente 4,8 MPa; quando foi adicionado 30% deste resíduo a argila D na temperatura de 1100°C. Isso ocorreu pois a M contém 50% do V em sua composição e o vidro auxilia no processo de densificação e consequentemente no aumento da resistência mecânica.

4.5 Análise microestrutural

Na análise microestrutura, realizada para amostras sinterizadas a 1100°C, procurou-se avaliar a homogeneidade da mistura entre a argila D e os resíduos industriais. Também foi realizada a análise por microssonda para verificar o efeito da adição do resíduo sobre a composição média do material.

A micrografia correspondente à argila D pura, sinterizada por 2 horas a 1100°C está representada na Figura 4.24a. Da mesma forma que as Figuras 4.24b, 4.24c, 4.24d, 4.24e, representam respectivamente a incorporação de 10% do resíduo 1 (EAF), 10% do resíduo 2 (LP), 10% do reíduo 5 (M) na argila D, 10% do resíduo 3 (V) na argila D .

A análise por microssonda da região representada nas Figura 4.24, está representada na Tabela 4.4 .

Tabela 4.4 - Análise por microssonda da argila D e com 10% do resíduo 1, 2, 3 e 5.

	Percentual em peso					
	Al_2O_3	**SiO_2**	**TiO_2**	**Fe_2O_3**	**Na_2O**	**CaO**
Argila D	28,07	55,28	0,00	16,65	0,00	0,00
Argila D + 10% da EAF	25,18	49,42	0,05	16,70	0,08	7,90
Argila D + 10% da LP	27,29	55,81	0,00	16,90	0,00	00,00
Argila D + 10% do V	25,29	50,46	0,00	15,89	0,33	8,03
Argila D + 10% da M	30,97	49,61	0,00	18,24	0,00	1,18

As imagens mostram que, apesar dos materiais terem sido submetidos a tratamento térmico a 1100°.C, a microestrutura apresentada é característica de material com efeito reduzido de sinterização. Não existem evidências de formação de fase líquida e grande parte das partículas que compõem a microestrutura apresentam baixo grau coesão entre si. Em todas as imagens pode-se destacar a presença de pontos claros, que foram identificados como regiões ricas em Ferro; por partículas grosseiras e com características visuais típicas de quartzo; matriz contínua, que deve ser associada a outros componentes da argila além do resíduo combinado.

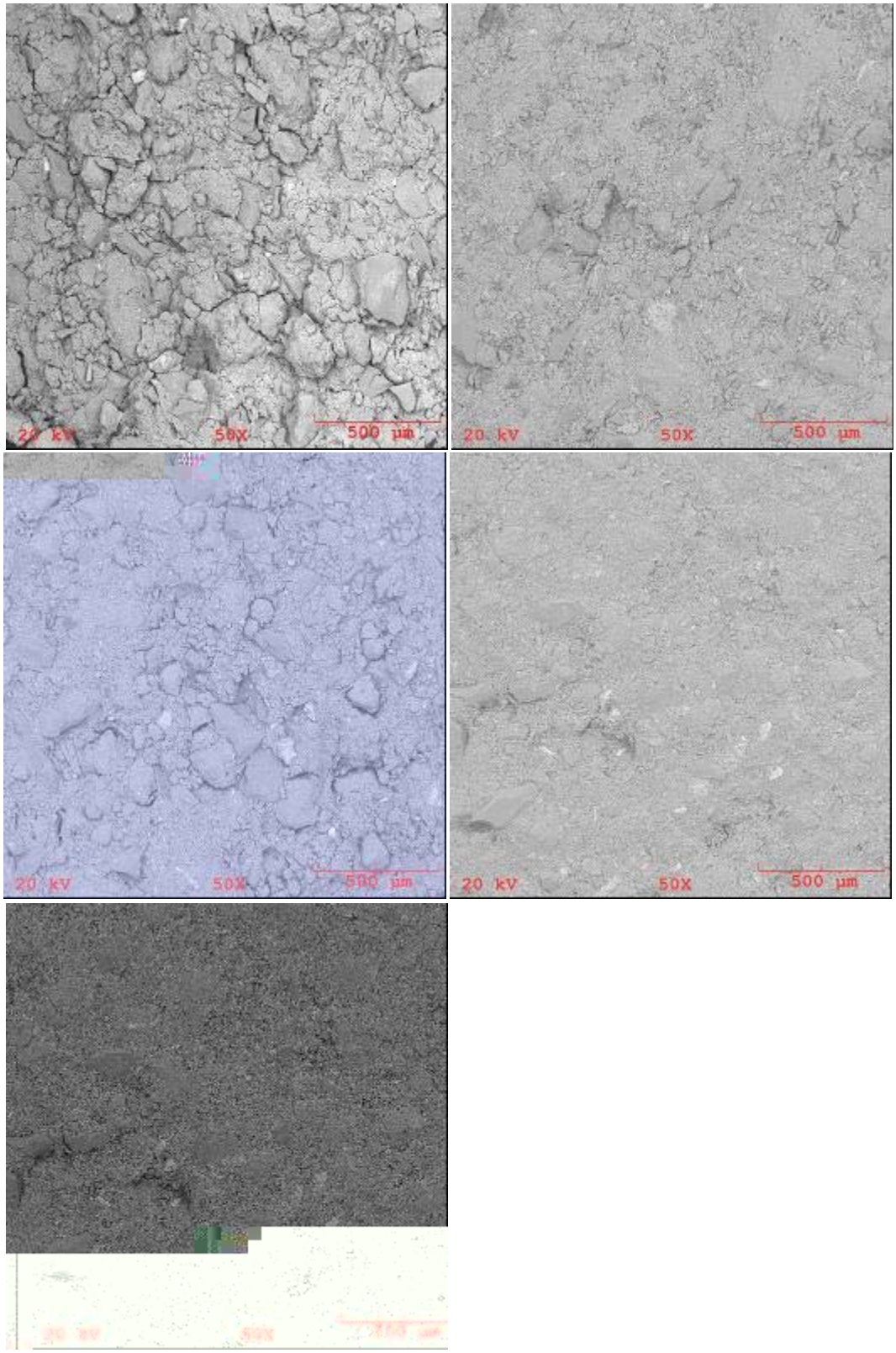

Figura 4.24 - Micrografia da: a) argila D, b) argila D + 10% da EAF, c) argila D + 10% da LP, d) argila D + 10% do V, e) argila D + 10% da M.

A presença do ferro, que pode ser encontrada na forma de óxido ou metálica está diretamente associada à coloração vermelha da argila, sendo que a incorporação do resíduo não alterou significativamente os teores observados, o que é plenamente justificável pelo fato de que a matéria-prima que contém maiores teores de ferro é a própria argila D.

É importante ressaltar aqui, que a análise dos teores presentes de cada componente deve ser vista com cautela, visto que foi analisada apenas uma pequena região e que podem existir gradientes de composição na amostra em virtude de falhas na homogeneização da mistura.

A incorporação da escória de alto-forno na argila D, (Figura 4.24 b), apresenta uma maior homogeneidade nos tamanhos das partículas. A presença de SiO_2 é menor do que nas demais micrografias analisadas, apesar da concentração deste óxido ser de aproximadamente 49,5% (Tabela 4.4). É importante ressaltar a presença do óxido de cálcio proveniente da EAF e ainda o aparecimento do óxido de sódio (Na_2O) e do óxido de titânio. Observa-se também que a quantidade de óxido de alumínio para esta mistura é inferior as demais.

Quando se incorpora 10% da LP, (Figura 4.24c), é possível verificar que existe a presença de grãos maiores referentes ao óxido de silício, porém a diferença na granulometria dos constituintes desta mistura não é tão evidente quando comparada com a micrografia da argila D pura. Os constituintes encontrados são os mesmos encontrados para a argila D sem incorporação, o que esta de acordo com os dados apresentados para a composição química deste resíduo 2 na Tabela 4.2. Este resíduo é proveniente de uma indústria de revestimento cerâmico e possui óxidos semelhantes aqueles encontrados na composição de diversas matérias-primas naturais usadas na fabricação de peças cerâmicas.

A Figura 4.24d, da mesma forma que todas as outras micrografias analisadas, mostra a presença de grãos maiores referentes ao óxido de silício. Existe uma grande quantidade de Al_2O_3, proveniente da argila D, juntamente com a presença de Fe_2O_3. Já a presença do óxido de cálcio é explicada, pelo fato do resíduo 5 ter 50% em peso do resíduo 1.

A Figura 4.24e, mostra a presença de SiO_2 numa concentração inferior aquela esperada, já que esta micrografia refere-se a mistura da argila D com 10% do V. Isto acontece, pois a análise foi pontual e a incorporação do V, pode não ter ocorrido homogeneamente ao longo de todo corpo-de-prova, desta forma a quantidade de óxido de silício encontrada no resíduo 3 não foi identificada na região analisada. Foram

identificadas as presenças dos óxidos: de cálcio; de ferro III, proveniente da argila D; e do óxido fundente, Na_2O. Observa-se ainda um ponto branco, referente a aglomeração do V nesta região analisada, o que vem há comprovar a má homogeneização da mistura.

Percebe-se que as Figuras 4.24d e 4.24e, apresentam uma maior conecção entre os grãos. Isto pode ser proveniente da enorme capacidade de formação de fase líquida do resíduo 3, (vidro), que está presente nestas duas misturas.

4.6 Quantificação dos gases emitidos durante a sinterização

A etapa final dos resultados e discussões refere-se ao estudo quantitativo da emissão dos gases durante a etapa de sinterização. Foram avaliados os gases monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), monóxido de nitrogênio (NO) e o Dióxido de enxofre (SO_2). Os resultados para cada um destes gases serão apresentados a seguir. As amostras 1, 2, 3 e 5 referem-se respectivamente a argila D: com 30% da EAF 1, 30% da LP, 30% do V e 30% do M.

É importante salientar que o objetivo desta análise não visa quantificar o valor real dos gases liberados na indústria cerâmica, já que os ensaios foram realizados no laboratório da UNEF em condições compatíveis para simular o processo de sinterização da indústria. O objetivo é correlacionar os perfis da curva entre si, que devem ser proporcionais aos reais. Claramente, o ambiente de sinterização varia para cada sistema e situação. Dificilmente será possível repetir os valores das concentrações. Entretanto, o perfil das curvas se repete, mostrando que estes resultados são um indicativo do que pode ocorrer numa indústria cerâmica.

4.6.1 Monóxido de carbono

A Figura 4.25 apresenta a liberação de monóxido de carbono na medida em que se aumenta a temperatura. As queimas foram realizadas com um fluxo de oxigênio na entrada do forno tubular para manter uma mesma atmosfera de queima, normalizando as medidas e, conseqüentemente, poder comparar as emissões de cada amostra.

A emissão de monóxido de carbono depende fortemente da atmosfera de sinterização do forno. Se a sinterização for realizada em uma atmosfera rica, existe então a condição perfeita para a combustão completa do material, isto é, quando o ambiente é rico em oxigênio, a emissão do monóxido de carbono será mínima, por outro lado, se não houver oxigênio suficiente na atmosfera do forno, ocorrerá a combustão incompleta do

material, não havendo condições de formar o CO_2, logo a quantidade de CO emitida será grande.

Durante todas as simulações dos processos de queima a atmosfera do forno foi rica em oxigênio, o que possibilitou a combustão completa e, portanto justifica o perfil da curva apresentada na Figura 4.25, onde a emissão do gás CO é baixa devido a combustão completa que facilita a emissão de CO_2.

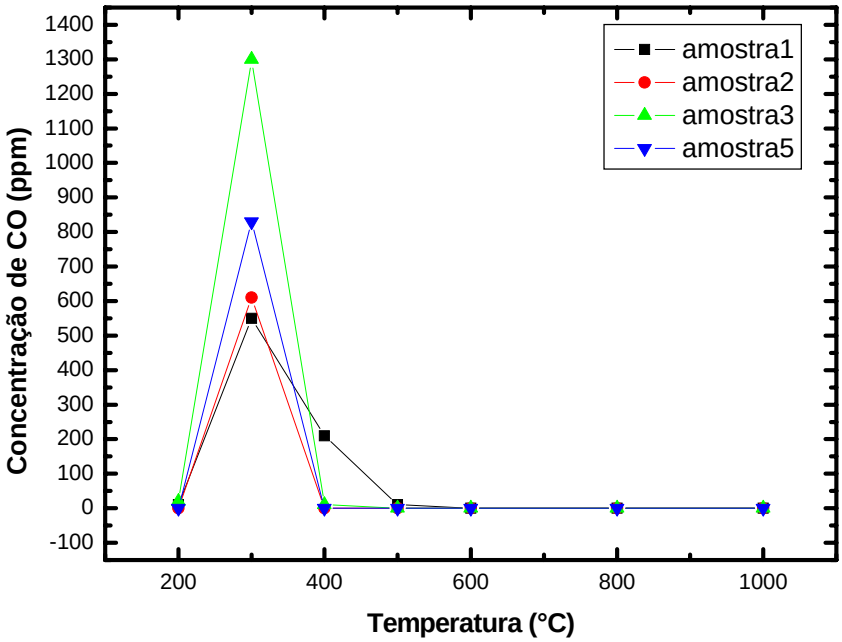

Figura 4.25 - Liberação do gás CO em função da temperatura de queima.

Os picos apresentados entre 200 e 400°C são provenientes da queima da matéria orgânica. O maior valor encontrado para a emissão deste gás refere-se à formulação da argila D com 30% do V, chegando aproximadamente a 1300ppm.

4.6.2 Dióxido de carbono

A emissão do dióxido de carbono é mostrada na Figura 4.26. As curvas apresentadas nesta Figura mostram que a liberação de CO_2 é alta, como já era esperado, uma vez que ocorreu a combustão completa do carbono.

Os picos entre 200° e 500°C são provenientes da decomposição da matéria orgânica. Como a composição da amostra 1 é referente à argila D com 30% de escória de

alto-forno, ocorreu em altas temperaturas a quebra da calcita, o que justifica o perfil da mesma entre 600° e 1000°C.

Nas amostras 2, 3 e 5 houve uma aceleração da reação entre 500° e 800°C, isto ocorreu por causa da decomposição do argilomineral caulinita presente na argila D e usada em todas as amostras. A amostra 1 e a amostra 3 apresentam os maiores valores para liberação deste gás chegando aproximadamente a 4500 ppm.

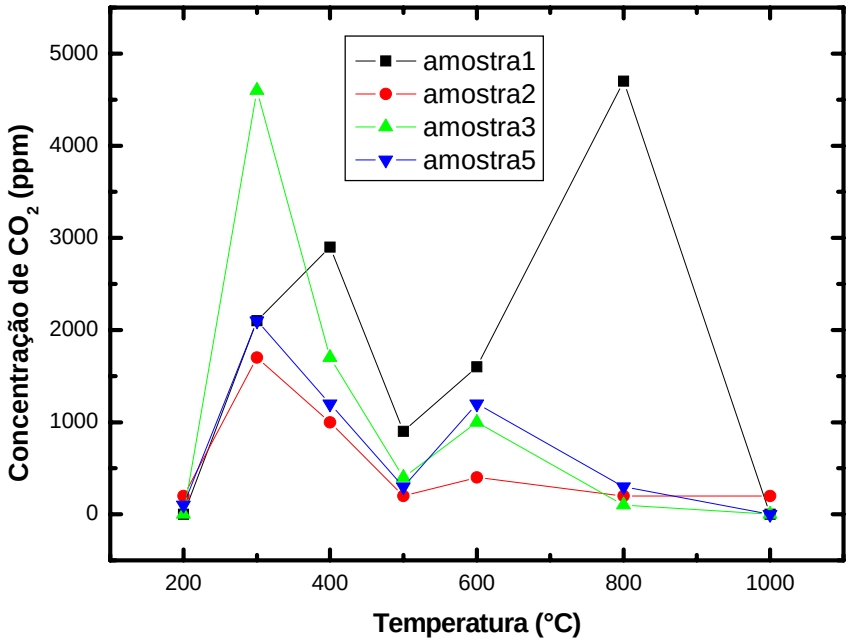

Figura 4.26 - Liberação do gás CO_2 em função da temperatura de queima.

4.6.3 Metano

O gás metano é liberado na etapa de sinterização devido a queima da matéria orgânica presente nas amostras analisadas. Essa emissão deste gás pode ser visualizada na Figura 4.27.

Como nas outras emissões já analisadas os picos que aparecem entre 200 e 400°C são provenientes da decomposição da matéria orgânica. O maior valor de emissão de CH_4 (2,1ppm), encontrado nesta Figura, é provenientes da amostra 5. Dentre todos os gases analisados até o momento o metano é o menos emitido para a atmosfera.

Dentre todas as curvas analisadas, a curva da amostra 3, apresentou um comportamento anômalo acima de 600°C. Onde ocorreu um aumento da emissão de

metano e isto pode ser decorrente de alguma reação química que aconteceu durante a queima.

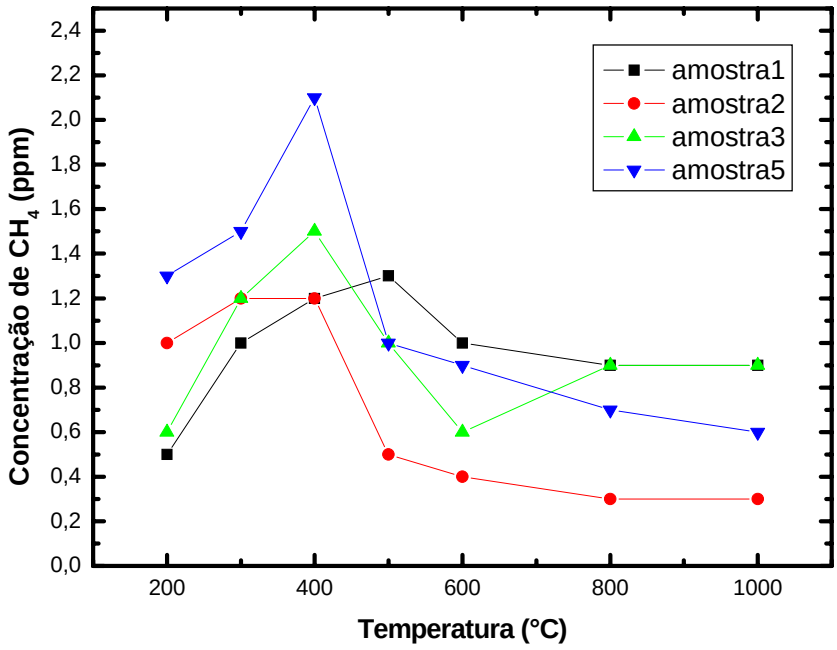

Figura 4.27 - Liberação do gás CH_4 em função da temperatura de queima.

4.6.4 Monóxido de nitrogênio

O monóxido de nitrogênio é um gás tóxico e muito perigoso para a saúde humana e para o meio ambiente. A emissão deste gás pode ser visualizada na Figura 4.28. As curvas apresentadas nesta Figura mostram que a emissão é nula para as amostras 2 e 5. Já para amostra 3 a liberação é inferior a 10 ppm e a amostra 1 apresentou uma liberação de NO que chega a 100 ppm. Isto pode ser decorrente de alguma reação química que ocorreu durante o aumento da temperatura e formou o monóxido de nitrogênio.

É importante salientar que a amostra 5 possui 15% de escória de alto-forno, mas esses valores não foram suficientes para formar o NO como ocorreu na amostra 1 que continha 30% de escória de alto-forno.

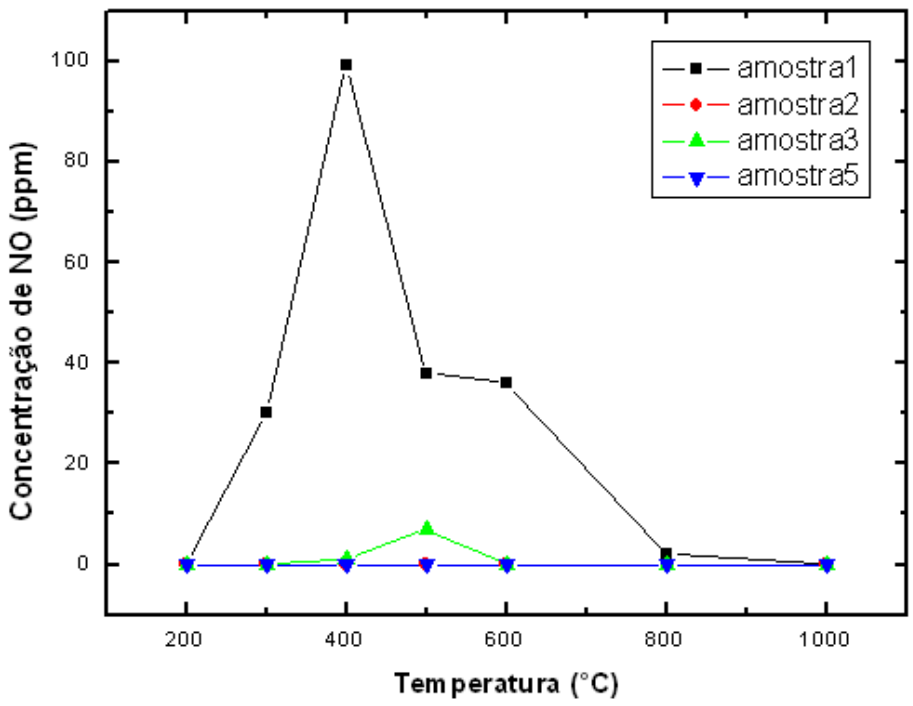

Figura 4.28 - Liberação do gás NO em função da temperatura de queima.

4.6.5 Dióxido de enxofre

Finalizando, a emissão de SO_2, não foi encontrada para nenhuma das amostras analisadas. Uma possível explicação para isto é que tenha ocorrido a emissão, porém abaixo da detecção do equipamento, que é de 1 ppm. Deve-se levar em conta ainda a imprecisão do equipamento que é de 10%.

CONCLUSÃO

A incorporação de resíduos industriais é uma prática muito utilizada na cerâmica. vermelha. Esta técnica é viável e lucrativa para as empresas que produzem estes resíduos, já que permite uma correta eliminação de um passivo ambiental, e também beneficia os fabricantes de tijolos, pois esta incorporação pode diminuir os custos de produção e melhorar as propriedades finais dos tijolos. Neste contexto e com base nos resultados obtidos nesta pesquisa é possível afirmar que:

- ✓ A caracterização química, mineralógica e térmica das argilas e dos resíduos industriais usados para o desenvolvimento das formulações é essencial, pois fornece dados qualitativos sobre o comportamento destas matérias-primas e destes resíduos.
- ✓ A proposta de desenvolvimento da metodologia descrita neste trabalho é eficiente para a caracterização e posterior incorporação destes tipos de resíduos industriais, em qualqer cidade brasileira que possua em abundância alguns dos subprodutos industrias citados nesta pesquisa.
- ✓ O resíduo 1 (EAF) apresenta forte caráter básico, evidenciado pela grande presença de óxido de cálcio e óxido de magnésio. O resíduo 3 (V) apresenta a maior quantidade de óxidos fundentes, ultrapassando 10% em peso de Na_2O e os resíduos 2 (LP) e 4 (LE) apresentam a maior quantidade de óxidos presentes em sua composição química, sendo que a maioria destes são também encontrados nas matérias-primas naturais freqüentemente utilizadas para a fabricação de cerâmica vermelha.
- ✓ Os resíduos utilizados para a incorporação são bastantes estáveis do ponto de vista das fases presentes. No resíduo 1, 3 e 5 existe a presença da fase vítrea e estas fases permanecem iguais mesmo com aquecimento a 1000°C. Estes resíduos resultam na incorporação direta da fase vítrea. Por outro lado, os resíduos 2 e 4 são formados predominantemente por fases cristalinas.
- ✓ O comportamento térmico dos resíduos mostrou que não ocorreram muitos eventos ou aparecimentos de picos com o aumento da temperatura diferente daqueles que já

eram esperados referentes a eliminação de água, decomposição de alguns argilominerais ou outros constituintes dos resíduos usados.

- ✓ A fusão não ocorreu claramente em todos os subprodutos analisados e dentre aqueles onde foi possível visualizar esta temperatura, a EAF apresentou o maior valor chegando aproximadamente a 1390°C.
- ✓ A EAF apresentou uma expansão, (ganho de massa), verificado na análise térmica e este fenômeno influenciou as propriedades tecnológicas finais dos tijolos produzidos com a incorporação deste resíduo.
- ✓ A adição do V na argila D, forneceu os melhores resultados para as propriedades analisadas e o início do processo de sinterização nestes corpos-de-prova já haviam ocorridos na temperatura 900°C, mostrando a grande capacidade deste resíduo na formação da fase líquida e conseqüentemente auxílio no processo de sinterização.
- ✓ A incorporação de todos os resíduos foi satisfatória, já que as propriedades

SUGESTÕES

O tema desta pesquisa, incorporação de resíduos industriais em massa cerâmica, é um assunto muito relevante e intensamente analisado na área de cerâmica vermelha.

Para o enriquecimento desta pesquisa propõe-se estudar o comportamento de sinterização, densificação e propriedades tecnológicas de novas composições.

Avaliar a possibilidade de incorporação de novos resíduos industriais, bem como a incorporação de mais de um resíduo.

Otimizar o tempo de mistura, verificar qual o tempo mais adequado para a homogeneização total.

Utilizar o método de extrusão para obtenção de peças e analisar estas do ponto de vista de suas propriedades físicas: absorção de água e densidade aparente como também mecânicas: resistência à flexão e compressão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCERAM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Disponível em: http://www.aberam.org.br Acesso em 25 de setembro de 2005.

ALBERS, A.P.F., MELCHIADES, F.G., MACHADO, R., BALDO, J.B, BOSCHI, A.O. **Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raio X**. Cerâmica 48 (305), Jan/fev/Mar, 2002.

ANFACER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS. Disponível em : http:// www. anfacer.org.br Acesso em 25 de maio de 2006.

ANICER – **Associação Nacional da Indústria Cerâmica**. Blocos Cerâmicos - Manual técnico. Porto Alegre: 2000. 4p. (a)

ANICER – **Associação Nacional da Indústria Cerâmica**. Telhas Cerâmicas - Manual técnico. Porto Alegre: 2000. 4p. (b)

BARSOUM, M.V. **Fundamentals of ceramics**. McGraw-Hill. 1997

BIGÉLLI, E. L. **Obtenção de vitrocerâmicos sinterizados a partir da combinação de escórias siderúrgicas e cinzas volantes**. Dissertação de Mestrado. Engenharia e ciência dos materiais. Universidade Federal do T026ê4.3098 12.0026 4R, DOCuritiba,-10.412309 -1.70 Tc-0 Tw

CINCOTTO, M.A., BATTAGIN, A.F., AGOPYAN, V. **Caracterização de escória granulada de alto-forno e seu emprego como aglomerante e agregado.** São Paulo, IPT, 1992. 33 p. (IPT, Boletim 65).

COELHO, C., ROQUEIRO, N., HOTZA, D. **Rational mineralogical analysis of ceramics.** Mater letter, 52 (6), 394-398, 2000.

COSTA, M.G., RIBEIRO, M.J., LABRINCHA, J.A. **Reutilização in situ das lamas residuais de uma indústria cerâmica.** Cerâmica Industrial, 8 (4) Julho/agosto, 2003

FOLGUERAS, M.V. **Obtenção de vitrocerâmicos sinterizados a partir da combinação de escórias siderúrgicas e cinzas volantes**. Tese de doutorado – Programa de pós graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2001.

GODINHO, K.O., DE HOLANDA, J.N.F., DA SILVA, A.G.P. **Efeito da adição de vidro sobre propriedades de queima de uma argila vermelha**. Anais do 49° Congresso Brasileiro de Cerâmica. São Pedro-SP, 2005.

GRESPAN SETZ, L.F., MUNHOZ JR., A. H., A.R ZANDONADI, A.R.**Reciclagem De Resíduo Sólido De "Pó De Vidro" Em Cerâmica Vermelha – Utilização Do Método Estatístico De Weibull Na Análise Da Resistência A Flexão De Corpos Contendo Teores Diferentes De Resíduo**. Anais do 45° Congresso Brasileiro de Cerâmica. Florianópolis –SC, 2001.

GRIMMER, A.; WILLIANS, P. K. **A brief history of clay roofing tile**. Disponível em: <http://www.mca-tile.com/history> Acesso em: 06 maio de 2006.

GRUN, E. DENARDI, C. D., CORREIA, S. L., FOLGUERAS, M. V. **Definição de parâmetros para a formulação de misturas de argila vermelha**. Anais do 49° Congresso Brasileiro de Cerâmica. São Pedro–SP, 2005.

IBS - INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. Disponível em: http://www.ibs.org.br Acesso em 23 de março de 2005.

IBS - INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. Inventário e destino da geração de escórias siderúrgicas no Brasil. **Estudo sobre o uso de escórias**. 1998.

MODESTO, C. BRISTOT, V., MENEGALI, G., DE BRIDA, M., MAZZUCCO, M. MAZON, A., BORBA, G., VIRTUOSO, J., GASTALDON, M., OLIVEIRA, A.P.N **Obtenção e caracterização de materiais cerâmicos a partir de resíduos sólidos industriais.** Cerâmica Industrial, 8 (4) Julho/Agosto, 2003.

MODESTO, C. **Obtenção e caracterização de materiais cerâmicos a partir de resíduos sólidos das estações de tratamento de efluentes e de argila das empresas ELIANE revestimentos cerâmicos**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis-SC, 2005.

MONTEDO, O.R.K., REITZ, G.M., BERTAN, F.M., PICCOLI, R., HOTZA, D., OLIVEIRA, A.P.N. **Utilização de pó de aciaria em massa cerâmica vermelha**. Cerâmica Industrial, 8 (5/6) Setembro/Dezembro, 2003.

NAVARRO, J.M..F. **El vidrio**. Consejo superior de investigaciones cientificas: Fundacion Centro Nacional del Vidrio. 2ª edição, Madrid, 1991.

PASCHOAL, J.A.A. **Estudo de parâmetros de qualidade para cerâmica estrutural vermelha**. Dissertação de mestrado. Departamento de engenharia de materiais. Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, São Carlos- SP, 2003.

PEREIRA FILHO, F.I., COSIN, S., VALERA,T.S., TOFFOLI, S.M. **Utilização de vidro em pó em cerâmica vermelha**. Anais do 46° Congresso Brasileiro de Cerâmica. São Paulo-SP, 2002.

ROSA, F.G., FOLGUERAS, M.V., LONGO, A.L., CECHINEL, A., OLIVEIRA, A.P.N., HOTZA, D. ALARCON, O.E. **Caracterização de resíduos industriais para o uso na composição de massas cerâmicas**. Cerâmica Informação (8) pg.30-34 Jan/Fev 2000.

ROSA, F.G. **Estudo da viabilidade de obtenção de placas cerâmicas para revestimentos a partir de resíduos sólidos industriais e minerais**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis-SC, 2000.

SOUSA, F.J.P. **Estudo e desenvolvimento de alternativas para o aproveitamento de resíduos das indústrias de revestimentos cerâmico**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis-SC, 2003.

STANWORTH, J.E. **Physikalische Eigschaften und Strukur von Glasen**

NORMAS TÉCNICAS

Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). **NBR 5735 - Cimento Portland de alto-forno.** Rio de Janeiro, 1991.

Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). **NBR 6461 – Bloco cerâmico para alvenaria- Verificação da resistência a compressão.** Rio de Janeiro, Junho de 1983.

Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). **NBR 7171 – Bloco de cimento para alvenaria.** Rio de Janeiro, Novembro de 1992.

Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). **NBR 8947 –Telha cerâmica – Determinação da massa e da absorção de água.** Rio de Janeiro, Julho de 1985.

Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). **NBR 12253 – Solo- cimento – Dosagem para o emprego como camada de pavimentação.** Rio de Janeiro, 1992.

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