



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PROCESSOS

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA SERRAGEM DE
GRANITOS PARA USO COMO MATÉRIA-PRIMA CERÂMICA**

TESE DE DOUTORADO

Gelmiros de Araújo Neves

Orientadores

Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira

Profa. Dra. Maria Cláudia Silva (in memoriam)

Prof. Dr. Hélio de Lucena Lira

Campina Grande – Paraíba

Maiο de 2002



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE PROCESSOS**

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA SERRAGEM DE GRANITOS
PARA USO COMO MATÉRIA-PRIMA CERÂMICA**

Gelmires de Araújo Neves

**Tese apresentada ao programa de
Pós – Graduação em Engenharia
de Processos em cumprimento às
exigências para obtenção do grau
de DOUTOR EM ENGENHARIA DE
PROCESSOS.**

**Orientadores: Prof.Dr. Heber Carlos Ferreira
Prof^a. Dra. Maria Cláudia Silva(in memoriam)
Prof. Dr. Hélio de Lucena Lira**

**Campina Grande - Paraíba
Maio de 2002**



N511r

Neves, Gelmires de Araujo

Reciclagem de residuos da serragem de granitos para uso como materia-prima ceramica / Gelmires de Araujo Neves. - Campina Grande, 2002.

242 f.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Ceramica - Materias-Primas 2. Granito - Residuo - Reciclagem 3. Tese - Engenharia de Processos I. Ferreira, Heber Carlos II. Silva, Maria Claudia III. Lira, Helio de Lucena IV. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB)

CDU 666.3(043)

**MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA TESE DE DOUTORADO DE
GELMIRES DE ARAÚJO NEVES**

**APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE PROCESSOS DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, EM 14 DE MAIO DE 2002.**

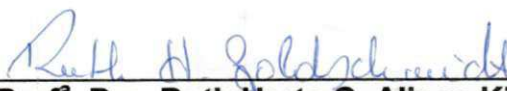
BANCA EXAMINADORA:



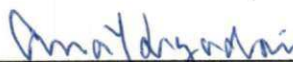
**Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira
Orientador
DEMa/UFCG**



**Prof. Dr. Hélio de Lucena Lira
Orientador
DEMa/UFCG**



**Prof^a. Dra. Ruth Herta G. Aliaga Kiminami
Examinadora Externa
DEMa-UFSCar**



**Prof^a. Dra. Ana Maria Bastos Costa Segadães
Examinadora Externa
Dep. Eng. Cerâmica e do Vidro - Universidade de
Aveiro - Portugal**



**Prof^a. Dra. Dulce Maria de Araújo Melo
Examinadora Externa
DQ-UFRN**



**Prof^a. Dra. Lisiane Navarro de Lima Santana
Examinadora Externa
DEMa-UFCG**

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Milton (in memoriam) e Francisca. À minha irmã Mazinha e a toda família. À minha esposa Nita e as minhas filhas, Any, Tatiana e Cristina, pelo amor, carinho e incentivo demonstrado em todos esses anos.

CURRICULUM VITAE DO CANDIDATO

Mestre em Engenharia Química na Área de Materiais não Metálico pela UFPB (1989), Engenheiro de Minas pela UFPB (1984). Atualmente conta com 120 trabalhos publicados em periódicos e anais de congressos.

AGRADECIMENTOS

Aos orientadores Prof.Dr. Heber Carlos Ferreira e Prof. Dr. Hélio de Lucena Lira, pelos ensinamentos transmitidos, críticas construtivas, revisão do texto e pela dedicação demonstrada, fatos esses que contribuíram decisivamente para conclusão desta tese.

A Prof^a. Dra. Maria Cláudia Silva (in memoriam), Ex-chefe do DEMa/CCT/UFPB, pelo apoio constante e na co-orientação durante o período em vida na realização deste trabalho.

Aos alunos bolsistas de iniciação científica Heber Sivini Ferreira, Kaline de Melo Souto e Pollyane Márcia de Souto, pelo auxílio constante na execução da parte experimental deste trabalho.

ATECEL nas pessoas dos professores Francisco Edmar Brasileiro e Edson da Costa Pereira pelo apoio técnico e financeiro durante o período de realização deste trabalho.

Ao Laboratório de Síntese e Processamento de Materiais Cerâmicos do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos nas pessoas das professoras Profa. Dra. Ruth Herta G. Aliaga Kiminami e Prof^a Dra. Ana Cristina Figueiredo de Melo Costa pela ajuda nos ensaios de caracterização.

As Industrias de rochas ornamentais POLIGRAN, CAXAMBÚ, FUJI, GRANEX e GRANDONI pelo fornecimento dos resíduos. As empresas ARMIL MINÉRIOS LTDA, Companhia Industrial Cerâmica - CINCERA e Empresa de Revestimento COORDEIRO S/A, pelo fornecimento de matérias-primas e apoio nos ensaios realizados.

Aos Engenheiros Romualdo Rodrigues Menezes e Solange Maria da Rocha Patrício e a aluna de Doutorado em Engenharia de Processos Luciana Viana Amorim pelo apoio técnico na realização dos ensaios.

Ao grupo de trabalho dedicado a pesquisas sobre estudos de coleta seletiva e reciclagem de resíduos Sólidos (GEARES) e aos professores, funcionários do DEMa/CCT/UFPB e a coordenação de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, pela oportunidade de convivência e colaboração.

RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA SERRAGEM DE GRANITOS PARA USO COMO MATÉRIA-PRIMA CERÂMICA

RESUMO

Os resíduos do beneficiamento das rochas graníticas ornamentais para obtenção de revestimentos utilizados na construção civil são materiais poluentes. Todavia, quando adequadamente manipulados podem tornar-se matérias-primas alternativas para uso na indústria cerâmica, propiciando ao mesmo tempo economia das reservas tradicionais e preservação do meio ambiente. Assim este trabalho tem como objetivo principal avaliar a potencialidade do uso de resíduos oriundos do beneficiamento da serragem de granitos das indústrias da Paraíba, Pernambuco e Ceará, visando sua aplicação como matéria-prima cerâmica, para uso em cerâmica vermelha, revestimentos cerâmicos e grés sanitário, como componente principal, em substituição aos tradicionais quartzo, feldspato e eventualmente pegmatitos. Foram realizados ensaios de caracterização física e mineralógica tais como massa específica real, análise granulométrica, área específica, análise química, difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura e por microsonda de energia dispersiva das matérias-primas alternativas na forma de resíduos e das matérias-primas convencionais plásticas e não plásticas. Os ensaios tecnológicos para uso em cerâmica vermelha foram realizados de acordo com as metodologias de SOUZA SANTOS, SALGE & BAZARGHI e das normas da ABNT. Para revestimentos cerâmicos as massas foram formuladas através do REFORMIX - 2.0, e os ensaios foram realizados de acordo com a sistemática de SOUZA SANTOS e as normas da ABNT. Para grés sanitário as massas foram formuladas utilizando o mesmo programa com os resíduos no estado natural e após desferrização através de uma separação magnética, utilizando a sistemática proposta por SOUZA SANTOS & ANGELERI. Os resultados evidenciaram que os resíduos estudados apresentaram caracterização física e mineralógica adequados para uso como matéria-prima cerâmica alternativa para uso em cerâmica vermelha para fabricação de blocos maciços, blocos furados e telhas e em revestimentos cerâmicos e grés sanitário.

RECYCLING OF RESIDUES FROM SAWING OF GRANITIC ROCKS OF FOR USE AS CERAMIC RAW MATERIAL

ABSTRACT

The residues from the beneficiation of ornamental granitic rocks used in the civil construction are pollutant materials. However, when appropriately manipulated they can become alternative raw materials for the use in the ceramic industry, propitiating economy of the traditional reserves and preservation of the environment at the same time. The aim of this work is to evaluate the potentiality of the residue from the improvement of the sawing of granites from industries of Paraíba, Pernambuco and Ceará, as ceramic raw material, in red ceramic, ceramic tile and sanitary ware, as main component, in instead of the traditional quartz, feldspar and eventually pegmatite. The samples of alternative (residue) and traditional raw ceramic materials were submitted to physical and mineralogical characterization, such as specific gravity, size analysis, specific area, chemical analysis, X-ray diffraction, scanning electron microscopy and energy dispersive. The technological tests for use in red ceramic were carried out agreement with SOUZA SANTOS and SALGE & BAZARGHI methodology and according to the Brazilian norms (ABNT). For ceramic tile the composition of the masses were calculated by using a computer program called REFORMIX - 2.0, and the tests were carried out following the procedures established SOUZA SANTOS and according to the Brazilian norms (ABNT). For sanitary ware the composition of the masses were also calculated by using the same program with the residues in the natural state and after treatment of to remove iron through a magnetic separation, also using the procedures proposed by SOUZA SANTOS & ANGELERI. The results evidenced that the studied residues presented physical and mineralogical characteristics fit to be used as ceramic raw material in red ceramic for production of bricks and roof tile, and ceramic tile and sanitary ware.

PUBLICAÇÕES SOBRE O TEMA DA TESE

NEVES, G.A.; FERREIRA,H.S.; FERREIRA,H.C.; SILVA,M.C.; Reciclagem de resíduos industriais provenientes da serragem de granitos para uso em massas para revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Informação*, V.1, nº13, p. 56-61, 2000.

NEVES, G.A.; SOUTO, K.M.; FERREIRA, H.C.; SILVA, M.C. Utilização de resíduos da serragem de granito para confecção de tijolos cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999, Florianópolis-SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis, 1999.

NEVES, G.A.; FERREIRA, H.S.; FERREIRA, H.C.; SILVA, M.C.; Potencial de utilização de resíduo da serragem de granito na fabricação de revestimentos cerâmicos-Parte-I. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44., 2000, São Pedro-SP. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, São Pedro-SP, 1999. p.9901-9913.

NEVES, G.A.; SILVA, M.C.; LIRA, H.L.; FERREIRA, H.C. and COSTA, A.C.F.M. Characterization of residue from sawing of granitic rock. IN: Acta microscopica, proceedings of the 7th brazilian conference on microscopy of materials, MICROMAT, pg.195-196, 2000.

NEVES, G.A.; PATRICIO, S.M.; FERREIRA, H.C.; SILVA, M.C. Utilização de resíduos da serragem de granito para confecção de tijolos cerâmicos. *Interação*, Campina Grande, PB, v.1, p.3-8, 2000.

NEVES, G.A.; SOUTO, K.M.; FERREIRA, H.C.; SILVA, M.C. Aproveitamento de resíduos da serragem de granito para confecção de tijolos e telhas cerâmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45., 2001, Florianópolis-SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis, 2001. p.2701-2713.

NEVES,G.A.; SOUTO,P.M.; AMORIM,L.V.; FERREIRA,H.C.; Influência do Ferro (Fe_2O_3) contido nos resíduos da serragem de granitos no uso como matéria prima alternativa em grés sanitário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45., 2001, Florianópolis-SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis, 2001. p.2001-2013.

NEVES,G.A.; MIRANDA, E.A.P.; LIRA, H.L. Utilização de resíduos de caulim e de granito como matérias-primas cerâmicas. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45.,2001, Florianópolis-SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis-SC, 2001. p.2701-2711.

NEVES,G.A.; SANTOS,A.E.F.; FERREIRA,H.C. Expansão por umidade de revestimentos cerâmicos com resíduo de granito. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45.,2001, Florianópolis-SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis-SC, 2001. p.1801-1813.

SUMÁRIO

	Pág.
Dedicatória	I
Agradecimentos	II
Resumo	III
Abstract	IV
Publicações Completas	V
Sumário	VII
Índice de Tabelas	XII
Índice de Figuras	XVII
Símbolos e Abreviaturas	XXII
CAPITULO I – INTRODUÇÃO	1
1.1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.2– OBJETIVOS.....	3
1.2.1 – Objetivo Geral.....	3
1.2.2 – Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II	
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 - Granitos Ornamentais e sua Exploração.....	5
2.2- Resíduos das Indústrias de Granitos Ornamentais.....	9
2.2.1 - Origem e Classificação.....	9
2.2.2 - Volume.....	10
2.3 - Impacto Ambiental da Indústria de Mineração de Granitos no Brasil.....	13
2.4 - Reciclagem de Resíduos.....	22
2.5 - Reciclagem de Resíduos para Uso como Matérias-Primas Cerâmicas.....	25
2.6 - Reciclagem dos Resíduos de Granitos.....	39
2.7 - Granitos como Matérias-Primas Cerâmicas.....	42
2.7.1 -Mineralogia dos Granitos.....	42
2.7.2 -Utilização em Massas Cerâmicas.....	44

2.8 - Normalização e Classificação de Produtos Cerâmicos.....	46
2.9 – Conclusão	49
CAPÍTULO III - MATÉRIAS E METODOS.....	51
3.1- MATERIAIS.....	51
3.1.1 - Matérias-Primas Alternativas.....	51
3.1.2 – Matérias-Primas Convencionais.....	54
3.2 – MÉTODOS.....	56
3.2.1 – Caracterização.....	56
3.2.1.1 – Caracterização Física.....	57
3.2.1.1.1 – Massa Específica Real.....	57
3.2.1.1.2 – Distribuição do Tamanho de Partícula por peneira- mento e Sedimentação-(AG).....	58
3.2.1.1.3 - Distribuição do Tamanho de Partícula pelo Método de Sedimentação Através de Absorção de Luz Óptica.....	58
3.2.1.1.4 – Área Específica - (AE)	59
3.2.1.1.5 – Limites Atterberg.....	59
3.2.1.2 – Caracterização Mineralógica.....	60
3.2.1.2.1 – Preparação das Amostras.....	60
3.2.1.2.2 – Análise Química Convencional - (AQ).....	60
3.2.1.2.3 – Análise Química (EDS).....	60
3.2.1.2.4 – Análises Térmicas.....	61
3.2.1.2.5 – Difração de Raios –X.....	61
3.2.1.2.6 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	62
3.2.1.2.7 - Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET).....	63
3.2.1.2.8 – Capacidade de Troca de Cátions (CTC).....	63
3.2.1.3 – Caracterização Ambiental.....	63
3.2.1.3.1 – Solubilização de Resíduos.....	63
3.2.1.3.2 – Lixiviação de Resíduos.....	64
3.2.2 – Ensaio Tecnológicos.....	64
3.2.2.1 – Estudos dos Resíduos Visando sua Aplicação em Cerâmica Vermelha.....	65
3.2.2.1.1 - Preparação das Amostras.....	66

3.2.2.1.2- Composições das Massas Cerâmicas.....	66
3.2.2.1.3- Ensaio Preliminares	66
3.2.2.1.4 – Ensaio Completos.....	67
3.2.2.1.5 – Ensaio em Escala Piloto.....	67
3.2.2.1.6 – Propriedades Cerâmicas.....	67
3.2.2.1.7 – Propriedades Mecânicas.....	68
3.2.2.2 – Estudos dos Resíduos Visando sua Aplicação como Matérias- Primas para Uso em Revestimentos Cerâmicos.....	69
3.2.2.2.1 – Preparação das Amostras.....	70
3.2.2.2.2 – Método de Formulação de Massas Cerâmicas.....	70
3.2.2.2.3 – Moldagem dos Corpos de Prova.....	71
3.2.2.2.4 – Ensaio em Escala Piloto.....	71
3.2.2.2.5 – Propriedades Cerâmicas.....	72
3.2.2.2.6 – Dilatação Térmica.....	72
3.2.2.2.7 – Expansão por Umidade.....	72
3.2.2.3 – Estudos dos Resíduos Visando sua Aplicação como Matérias- primas para Confeção Grés Sanitário.....	73
3.2.2.3.1 - Preparação de amostras.....	73
3.2.2.3.2 - Desferrização por Separação Magnética.....	73
3.2.2.3.3 - Ensaio de Fusibilidade.....	74
3.2.2.3.4 - Reologia das Matérias-Primas Plásticas.....	75
3.2.2.3.5 – Reologia das Massas Cerâmicas.....	76
3.2.2.3.5.1 - Formulação das Massas.....	76
3.2.2.3.5.2 - Preparação da Barbotina.....	76
3.2.2.3.5.3 - Propriedades Cerâmicas.....	76
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
CARACTERIZAÇÃO.....	77
4.1-Matérias-primas Alternativas na Forma de Resíduos.....	77
4.1.1- Massa Especifica Real.....	77
4.1.2 – Distribuição de Tamanho das Partículas.....	78
4.1.3 – Análise Química - (AQ).....	81
4.1.4 – Análise Térmica - (ATD, ATG).....	83

4.1.5 – Difração de Raios - X	86
4.1.6 - Microscopia Eletrônica de Varredura - (MEV).....	88
4.2 - Matérias-primas Convencionais.....	92
4.2.1 – Massa específica Real (MEA).....	92
4.2.2 – Distribuição de Tamanho de Partículas.....	93
4.2.3 – Limites de Atterberg	99
4.2.4 – Análise Química – (AQ)	100
4.2.5 – Análise Térmica – (ATD, ATG).....	101
4.2.6 – Difração de Raios-X.....	105
4.2.7 – Ponto de Fusão, Composição Mineralógica Calculada e CTC	107
4.2.8 – Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET).....	108
4.3 – Caracterização Ambiental.....	110
4.2.8 - Conclusões Parciais.....	113
CAPÍTULO V - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	116
CERÂMICA VERMELHA.....	116
5.1 - Limites Atterberg das Massas Incorporadas com Resíduos.....	116
5.2 - Ensaio Preliminares dos Corpos Cerâmicos Incorporadas com Resíduos.....	118
5.3 - Ensaio Completos das Massas Incorporadas com Resíduos.....	129
5.3.1 - Massas Incorporadas com Misturas Resíduos.....	139
5.4 - Ensaio em Escala Piloto das Massas Incorporadas com Resíduos....	145
5.5 - Conclusões Parciais.....	149
CAPÍTULO VI - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	151
REVESTIMENTOS CERÂMICOS.....	151
6.1 – Composições das Massas Estudadas.....	151
6.2 – Propriedades Físico-mecânicas das Massas Alternativas em Escala de Laboratório.....	151
6.3 – Propriedades Físico-Mecânicas das Massas Alternativas em Escala Piloto.....	168
6.4 – Dilatação Térmica.....	174
6.5 - Expansão por Umidade (EPU).....	175
6.6 - Conclusões Parciais.....	181

CAPÍTULO VII - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	183
GRÉS SANITÁRIO	183
7.1 - Ensaio de Fusibilidade.....	183
7.2 - Composições das Massas.....	185
7.3 - Propriedades Reológicas das Matérias-Primas Convencionais Plásticas.....	185
7.4 - Propriedades Reológicas das Massas Alternativas com Resíduos	189
7.5 - Velocidade de Deposição, Tempo de Secagem e Destacamento.....	202
7.6 - Propriedades Físico-Mecânicas.....	203
7.7 - Conclusões Parciais.....	211
CAPÍTULO VIII – CONCLUSÃO.....	214
CAPÍTULO IX - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	2218

NDICE DE TABELAS

	Pág.
TABELA 2.1 - Estatística da atividade de beneficiamento de rochas ornamentais no Brasil.....	8
TABELA 2.2 - Impactos gerados durante a pesquisa mineral, exploração e beneficiamento das rochas ornamentais.....	17
TABELA 2.3 - Resultados da caracterização ambiental através do processo de lixiviação realizado nos resíduos da serragem de granito do Estado do Espírito Santo.....	22
TABELA 2.4 - Propriedades cerâmicas de corpos de prova incorporados com resíduos redutores de plasticidades.....	28
TABELA 2.5 - Propriedades cerâmicas de tijolos incorporados com resíduos fundentes.	33
TABELA 2.6 - Propriedades cerâmicas de tijolos incorporados com resíduos combustíveis.....	36
TABELA 2.7 - Composições químicas de rochas graníticas, feldspatos e pegmatitos nacionais.....	43
TABELA 2.8 - Valores especificados para composição de feldspatos e pegmatitos que são utilizados em cerâmicas finas.	45
TABELA 2.9 - Valores limites para tensão de ruptura e absorção de água.....	46
TABELA 2.10 - Resistência mínima à compressão em relação à categoria (ABNT NBR 7170).....	47
TABELA 2.11 - Resistência à compressão de blocos de alvenaria por classe (ABNT NBR 7171,1992).....	47
TABELA 2.12 - Classificação segundo norma NBR 13818 (1997)	48
TABELA 2.13 - Classificação segundo norma ISSO 13006(1995).....	48
TABELA 2.14 - Valores de dilatação e expansão por umidade dos vários grupos de absorção de água (EN 103, EN155, 1994).....	48
TABELA 2.15 - Tensão de ruptura à flexão e absorção de água de massas de várias indústrias (SOUZA SANTOS, 1992).....	49

TABELA 4.1 -	Massa específica real dos resíduos estudados.....	78
TABELA 4.2 -	Distribuição granulométrica por peneiramento ¹⁾ e sedimentação dos resíduos estudados.....	79
TABELA 4.3 -	Áreas específicas (AE) dos resíduos estudados.....	81
TABELA 4.4 -	Composição química dos resíduos no estado natural.....	82
TABELA 4.5 -	Composição química dos resíduos após desferrização	83
TABELA 4.6 -	Constituintes químicos obtidos por EDS dos resíduos R-01 e R-02.....	92
TABELA 4.7 -	Massa específica real das matérias-primas convencionais estudadas.....	92
TABELA 4.8 -	Distribuição de tamanho de partículas por peneiramento e sedimentação das amostras estudadas.....	93
TABELA 4.9 -	Áreas específicas das matérias-primas convencionais	98
TABELA 4.10 -	Limites de liquidez, plasticidades e índices de plasticidades	99
TABELA 4.11 -	Composição química das matérias-primas convencionais .	100
TABELA 4.12-	Ponto de fusão, composição mineralógica calculada e Capacidade de troca de cátions.....	107
TABELA 4.13 -	Solubilização dos resíduos estudados.....	110
TABELA 4.14 -	Lixiviação dos resíduos estudados.....	112
TABELA 5.1 -	Limites de liquidez das massas estudadas.....	117
TABELA 5.2 -	Limites de plasticidades das massas estudadas	117
TABELA 5.3 -	Índices de plasticidade das massas estudadas	118
TABELA 5.4 -	Cores dos corpos cerâmicos após secagem a 110°C e sinterização nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C.....	120
TABELA 5.5 -	Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após secagem a 110° C.....	121
TABELA 5.6 -	Propriedades físico-mecânicas preliminares dos corpos cerâmicos com resíduos após queima na temperatura de 800°C.....	123
TABELA 5.7 -	Propriedades físico-mecânicas preliminares dos corpos	

	cerâmicos com resíduos após queima na temperatura de 900°C.....	125
TABELA 5.8 -	Propriedades físico-mecânicas preliminares dos corpos cerâmicos com resíduos após queima na temperatura de 1000°C.....	127
TABELA 5.9 -	propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após moldagem por extrusão e secagem a 110°C.	130
TABELA 5.10 -	Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após moldagem por extrusão e sinterização na temperatura de 800°C.....	132
TABELA 5.11 -	Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após moldagem por extrusão e sinterização na temperatura de 900°C.....	134
TABELA 5.12 -	Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após moldagem por extrusão e sinterização na temperatura de 1000°C.....	137
TABELA 5.13 -	Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com misturas de resíduos após secagem a 110°C.	139
TABELA 5.14 -	Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com misturas de resíduos após sinterização na temperatura de 800°C.....	140
TABELA 5.15 -	Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com misturas de resíduos após queima na temperatura de 900°C.	141
TABELA 5.16 -	Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com misturas de resíduos após queima na temperatura de 1000°C.	143
TABELA 5.17 -	Propriedades físico-mecânicas dos blocos cerâmicos em escala piloto.	146
TABELA 6.1 -	Composições das massas alternativas incorporadas com resíduos.....	152

TABELA 6.2 - Composição química das massas alternativas incorporadas com resíduos.....	153
TABELA 6.3 - Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com o resíduo R-01.....	155
TABELA 6.4 - Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com resíduo R- 02.....	157
TABELA 6.5 - Propriedades físico-mecânicas das massas alternativas incorporadas com resíduo R-03.....	160
TABELA 6.6 – Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com resíduo R-04.....	163
TABELA 6.7 - Propriedades físico-mecânicas das massas alternativas incorporadas com resíduo R-05.....	167
TABELA 6.8 - Propriedades físico-mecânicas das massas alternativas incorporadas com resíduos em escala piloto.....	169
TABELA 6.9 - Expansão térmica linear de corpos cerâmicos incorporados com resíduos sinterizados a 1175°C.....	176
TABELA 6.10 - Coeficientes de expansão térmica linear corpos cerâmicos incorporados com resíduos sinterizados a 1175° C.....	177
TABELA 6.11 - Expansão por umidade (EPU) dos corpos cerâmicos incorporados com resíduos.	181
TABELA 7.1 - Ensaio de fusibilidade dos resíduos no estado natural e após desferrização.....	184
TABELA 7.2 - Composições das massas estudadas.....	186
TABELA 7.3 - Composição química das massas estudadas.....	186
TABELA 7.4 - Propriedades reológicas das barbotinas das argila ball clay 02 e caulim.....	188
TABELA 7.5 - Propriedades reológicas da barbotina preparada com massa alternativa MA-01.....	191
TABELA 7.6 - Propriedades reológicas de barbotina preparada com massa alternativa MA-02.....	192
TABELA 7.7 - Propriedades reológicas da barbotina preparada com massa alternativa MA-03.....	193

TABELA 7.8 - Propriedades reológicas da barbotina preparada com massa alternativa MA-04.....	194
TABELA 7.9 - Propriedades reológicas da barbotina preparada com massa alternativa MA-05.....	197
TABELA 7.10 - Propriedades reológicas da barbotina preparada com massa alternativa MA-06.....	199
TABELA 7.11 - Propriedades reológicas da barbotina preparada com massa alternativa MA-07.....	199
TABELA 7.12 - Propriedades reológicas da barbotina preparada com massa alternativa MA-08.....	200
TABELA 7.13 - Velocidade de deposição (VD) e tempo de secagem (TS) das massas alternativas estudadas.....	203
TABELA 7.14 - Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após secagem a 110° C.....	204
TABELA 7.15 - Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos sinterizados nas temperaturas de 1150° C, 1200° C e 1250° C.....	206

INDICE DE FIGURAS

	Pág
FIGURA 2.1 - Fluxograma de processamento de uma indústria de rochas ornamentais.....	6
FIGURA 2.2 - Resíduo da serragem de granito em forma de polpa da industria POLIGRAN.....	12
FIGURA 2.3 - Impacto ambiental da indústria de mineração de granitos no Brasil.....	16
FIGURA 2.4 - Impacto ambiental da indústria de beneficiamento de granito ornamental.....	16
FIGURA 2.5 - Estratégias competitivas e sistema de gerenciamento ambiental.....	18
FIGURA 2.6 - Exemplo de um tanque de decantação, onde são dispostos os resíduos da serragem de granitos.....	19
FIGURA 2.7 - Esquema do fluxo poluente da serragem de blocos de rochas ornamentais.....	20
FIGURA 2.8 - Modelo hipotético de hierarquia para seleção das alternativas para reciclagem.....	25
FIGURA 3.1 - Fluxograma com as etapas dos ensaios de caracterização .	57
FIGURA 3.2 - Aparelho de Análise Térmica Modelo RB-3000 da BP Engenharia.....	61
FIGURA 3.3 - Fluxograma das etapas dos ensaios com as matérias-primas alternativas para aplicação em cerâmica vermelha..	65
FIGURA 3.4 - Extrusora de laboratório modelo 051 da marca VERDÉS.....	68
FIGURA 3.5 - Máquina universal de ensaios Testometric Micro 350.....	69
FIGURA 3.6 - Fluxograma com as etapas dos ensaios das matérias-primas alternativas para uso em revestimentos cerâmicos..	70
FIGURA 3.7 - Fluxograma das etapas dos ensaios das matérias-primas alternativas e convencionais para uso em grés sanitário.....	74
FIGURA 3.8 - Separador magnético utilizado na desferrização dos resíduos.....	75

FIGURA 4.1 - Distribuição de tamanho de partículas dos resíduos estudados.....	79
FIGURA 4.2 - Resultado da distribuição de tamanho de partículas em função da frequência dos resíduos estudados.....	80
FIGURA 4.3 - Análises termodiferencias e dos resíduos estudados.....	84
FIGURA 4.4 - Análises termogravimétricas dos resíduos estudados.....	85
FIGURA 4.5 - Difração de raios-x dos resíduos estudados.....	87
FIGURA 4.6 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise por microsonda de energia dispersiva (EDS) do resíduo R-01: A) completa, B) região A.....	89
Figura 4.7 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise por microsonda de energia dispersiva (EDS) do resíduo R-02: A) completa, B) região A.....	90
FIGURA 4.8 - Microscopia eletrônica de varredura(MEV) e análise por microsonda de energia dispersiva(EDS) do resíduo R-01 prensado.....	91
FIGURA 4.9 - Distribuição de tamanho de partículas das matérias-primas convencionais plásticas.....	95
FIGURA 4.10 - Resultados da distribuição de tamanho de partículas em função da frequência das matérias-primas convencionais plásticas.....	96
FIGURA 4.11 - Distribuição do tamanho de partículas em das matérias-primas convencionais não plásticas.....	97
FIGURA 4.12 - Resultados da distribuição do tamanho de partículas em função da frequência das matérias-primas convencionais não plásticas.....	97
FIGURA 4.13 - Análises termodiferenciais das matérias-primas convencionais plásticas.....	102
FIGURA 4.14 - Análise termogravimétricas das matérias-primas convencionais não plásticas.....	103
FIGURA 4.15 - Análise termodiferenciais das matérias-primas convencionais não plásticas.....	104

FIGURA 4.16 - Difração de raios-x das matérias-primas convencionais plásticas e não plásticas.....	106
FIGURA 417 - Microscopia eletrônica de transmissão (MET) das matérias-primas convencionais plásticas.....	109
FIGURA 5.1 - Limites de liquidez, plasticidade e índice de plasticidade das massas estudadas.....	119
FIGURA 5.2 - Propriedades físico-mecânicas preliminares dos corpos cerâmicos incorporados com resíduos após sinterização nas temperaturas de 800° C, 900° C e 1000° C.....	128
FIGURA 5.3 - Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com resíduos conformado pelo processo de extrusão após sinterização nas temperaturas de 800° C, 900° C e 1000° C.....	135
FIGURA 5.3.1- Blocos, telhas e lajotas das massas alternativas incorporadas com resíduos conformadas pelo processo de extrusão.....	138
FIGURA 5.4 - Absorção de água dos corpos cerâmicos incorporados com misturas dos resíduos após sinterização nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C	142
FIGURA 5.5 - Tensão de ruptura à flexão dos corpos cerâmicos incorporados com misturas dos resíduos após sinterização nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C	144
FIGURA 5.6 - Absorção de água dos blocos cerâmicos incorporados com resíduos em escala piloto.....	147
FIGURA 5.7 - Resistência à compressão simples dos blocos cerâmicos incorporados com resíduos em escala piloto.	147
FIGURA 5.7.1- Blocos cerâmicos das massas alternativas incorporadas com resíduos em escala piloto.....	148
FIGURA 6.1 - Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com resíduo R- 01.....	154
FIGURA 6.2 - Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com resíduo R-02.....	158

FIGURA 6.3 -	Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com resíduo R- 03.....	161
FIGURA 6.4 -	Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com resíduo R- 04.	165
FIGURA 6.5 -	Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com resíduo R- 05.....	166
FIGURA 6.6 -	Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com os resíduos R-01, R-02 e R-03 em escala piloto.....	170
FIGURA 6.6.1-	Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com os resíduos R-01, R-02 e R-03 em escala piloto	171
FIGURA 6.6.2-	Micrografias dos corpos cerâmicos das massas MPL - 3 e MPL- 4 sinterizados a 1150° C em escala piloto.....	172
FIGURA 6.6.3-	Aspecto visual dos revestimentos cerâmicos obtidos em escala de laboratório e industrial: a)1200°C; b)1175°C; c)1150° C; d)110°C e f) industrial.....	178
FIGURA 6.7-	Dilatação térmica das massas incorporadas com resíduos.....	179
FIGURA 6.8 -	Coeficiente de dilatação térmica das massas incorporadas com resíduos.....	180
FIGURA 6.9 -	Expansão por umidade (EPU) das massas incorporadas com os resíduos.....	185
FIGURA 7.1 -	Ensaio de fusibilidade dos resíduos no estado natural e após desferrização.....	187
FIGURA 7.2 -	Variação da viscosidade aparente em função da taxa de deformação no ponto de máxima defloculação.....	189
FIGURA 7.3 -	Curva de defloculação da argila ball-clay 02 e caulim na taxa de deformação de 50 rpm.....	190
FIGURA 7.4 -	Variação da viscosidade aparente em função da taxa de deformação no ponto de máxima defloculação.....	190
FIGURA 7.5 -	Curva de defloculação das massas alternativas MA-01 e MA-02 na taxa de deformação de 50 rpm.....	190
FIGURA 7.6 -	Variação da viscosidade aparente em função da taxa de	

	deformação no ponto de máxima defloculação.....	195
FIGURA 7.7 -	Curva de defloculação das massas alternativas MA-03 e MA-04 na taxa de deformação de 50 rpm.....	195
FIGURA 7.8 -	Variação da viscosidade aparente em função da taxa de deformação no ponto de máxima defloculação.....	198
FIGURA 7.9 -	Curva de defloculação das massas alternativas MA-05 e MA-06 na taxa de deformação de 50 rpm.....	198
FIGURA 7.10 -	Variação da viscosidade aparente em função da taxa de deformação no ponto de máxima defloculação.....	201
FIGURA 7.11 -	Curva de defloculação das massas alternativas MA-07 e MA-08 na taxa de deformação de 50 rpm.....	201
FIGURA 7.12 -	Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com resíduos após secagem a 110° C.....	204
FIGURA 7.13 -	Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com resíduos após sinterização nas temperaturas de 1150° C, 1200° C e 1250° C	207
FIGURA 7.14 -	Micrografias dos corpos cerâmicos das massas MA-07, MA-08 e padrão industrial sinterizado a 1250°C.....	208
FIGURA 7.15 -	Aspectos visuais dos cadinhos moldados com as massas alternativas incorporadas com resíduos e com o padrão industrial.....	209

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas

ATD – Análise térmica diferencial

ATG – Análise térmica gravimétrica

AG- Análise granulométrica

AE - Área específica

AA – Absorção de água

AQ – Análise química

BET –Brenauer, Emmett e Teller

CONAM – Conselho Nacional de Meio Ambiente

COPERSUL – Cooperativa do Rio Grande do Sul

CINCERA – Companhia Industrial Cerâmica

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

CAPÍTULO I

1.1 - INTRODUÇÃO

A indústria de mineração e beneficiamento de granitos é uma das áreas promissoras de negócios do setor mineral, apresentando um crescimento médio na produção mundial estimado em 6% a.a, nos últimos dez anos, e com uma comercialização de materiais brutos e produtos acabados/semi-acabados que movimentam em torno de US\$ 6 bilhões/ano, no mercado internacional. O Brasil possui grandes reservas de mármore e granitos com os mais variados aspectos estéticos. Dentre os estados produtores destacam-se o Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro, Bahia, Ceará e Paraíba (FILHO & RODRIGUES, 1999).

As indústrias beneficiadoras de granitos têm como principal atividade sua serragem e polimento para produção de rochas ornamentais, que são utilizadas na indústria da construção civil. O sistema de desdobramento de blocos de rochas para produção de chapas gera uma quantidade significativa de resíduos na forma de lama (polpa abrasiva). Tal material é proveniente da polpa utilizada nos teares, cujos objetivos são: lubrificar e resfriar as lâminas, evitar sua oxidação de modo a impedir o aparecimento de manchas nas chapas, servir de veículo para abrasivo (granalha) e limpar os canais entre as chapas. Essa polpa é geralmente, constituída de água, granalha e cal moída. Costuma-se utilizar outros materiais tais como: calcário moído, escória de alto forno, etc., em substituição à cal. (SILVA, 1998).

Nos últimos quinze anos, essas indústrias vêm sendo citadas pelos ambientalistas como fontes de contaminação e/ou poluição do meio ambiente, devido à enorme quantidade de resíduos gerados e freqüentemente lançados diretamente nos ecossistemas, sem um processo de tratamento para eliminar ou reduzir os constituintes presentes.

Os impactos ambientais, causados pelas empresas mineradoras de rochas ornamentais podem ser classificadas em três etapas. Na primeira etapa, o impacto é originado pela pesquisa mineral, na qual o grande problema deve-se ao desmatamento, causando grandes problemas hidrológicos. Na segunda etapa, o impacto ambiental é oriundo da exploração de lavras, na qual o grande problema deve-se as perdas originárias da confecção dos blocos com dimensões padronizadas, causando elevado volume de resíduos que freqüentemente são depositados em locais inadequados. Na terceira etapa, o impacto é devido aos resíduos gerados pelo beneficiamento na forma da polpa abrasiva chamada de "lama", resultante da ação dos teares e que precisam ser descartados, o que tem sido efetuado com grandes agressões ambientais. As lagoas e/ou tanques de decantação, utilizados pelos industriais mais conscientes, logo ficam repletos e têm de ser esgotados com grandes transtornos e a um custo muito elevado (NEVES et al., 1999).

Um dos grandes desafios para o século XXI é a eliminação dos resíduos industriais provenientes das empresas mineradoras. Pesquisas sobre reciclagem de resíduos vêm sendo desenvolvidas em todo mundo. Segundo JOHN (2000) as razões que motivam esses países em geral são: esgotamento das matérias-primas não renováveis, redução do consumo de energia, menores emissões de poluentes, redução de custos, melhoria na saúde e segurança da população.

No Brasil, diversos pesquisadores intensificaram estudos sobre reciclagem de resíduos para uso como matérias-primas cerâmicas destacando dentre eles: os resíduos combustíveis, os resíduos fundentes, as cinzas volantes e os resíduos de mineração, etc. A reciclagem destes resíduos é uma das maneiras de diversificar a oferta de matérias-primas para produção de componentes cerâmicos, viabilizando eventualmente reduções de preço.

As massas clássicas adequadas para fabricação de produtos cerâmicos são geralmente compostas de 50% de materiais não plásticos (quartzo, feldspato) ou pegmatitos, que são rochas graníticas que contém na sua constituição mineralógica quartzo, feldspato e mica e como componentes acessórios a pirlita, a apatita, o zircão e a turmalina. O uso dos resíduos da serragem de granitos como matéria-prima cerâmica está baseado na substituição de parte dos materiais não

plásticos. Esses resíduos tem em sua constituição um elevado percentual de quartzo, feldspato, mica e calcário, etc. Esses resíduos apresentam-se na forma de pó com granulometria muito fina (diâmetro médio equivalente abaixo de 20 μm) que facilita a sua utilização em composições para produtos cerâmicos.

Com base nos aspectos, acima citados, as motivações para desenvolvimento desta tese foram impulsionadas por dois fatores: o primeiro fator é a necessidade de desenvolvimento de novas pesquisas sobre reciclagem, tanto em nível industrial como também em instituições de pesquisas no Brasil, que objetivem soluções alternativas para os problemas dos resíduos gerados pelas indústrias de mineração em relação ao meio ambiente, já que essas empresas, principalmente as de beneficiamentos de granitos, são citadas como grandes poluidoras. O segundo fator foi a inexistência de estudos sistemáticos que envolvam de forma detalhada a incorporação desses resíduos como matérias-primas alternativas em substituição às convencionais para uso em cerâmica vermelha, revestimentos e grés sanitário.

O Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba através do Grupo de Estudo de Resíduos Sólidos (GEARES), formado por professores com formação multidisciplinar dos Departamentos de Engenharia de Materiais (DEMa), Engenharia Civil (DEC) e de Engenharia Agrícola (DEAg), desde de 1997 vem desenvolvendo pesquisas sobre reciclagem, seja através de entulhos da construção civil para uso em argamassa e produção de blocos com e sem função estrutural, como também com os resíduos da serragem de granitos para uso como matéria-prima cerâmica.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 – Objetivo Geral

No âmbito geral, este trabalho tem como objetivo principal avaliar a potencialidade do uso de resíduos oriundos do beneficiamento da serragem de granitos das indústrias da Paraíba, Pernambuco e Ceará, visando sua aplicação

como matéria-prima cerâmica em substituição aos tradicionais quartzo, feldspato e eventualmente pegmatitos.

1.2.2 – Objetivos Específicos

Para realização da pesquisa, foram estabelecidos como objetivos específicos às etapas a serem executadas para diminuir o impacto ambiental causado pela disposição inadequada de resíduos de granitos oriundos do beneficiamento de rochas ornamentais, na forma de lama abrasiva são:

- 1) caracterização física e mineralógica das matérias-primas convencionais e alternativas (resíduos de granitos);
- 2) caracterização ambiental dos resíduos de acordo com as normas da ABNT;
- 3) caracterização tecnológica com processamento adequado visando inclusão dos resíduos no desenvolvimento de massas para uso em cerâmica vermelha na fabricação de blocos maciços, blocos vedação, blocos estruturais e telhas cerâmicas; revestimentos e grés sanitário.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica, que foi dividida em quatro etapas. Na primeira etapa, é feita uma ampla revisão sobre as rochas graníticas ornamentais, mostrando sua conceituação e exploração e sua utilização nas diversas atividades industriais. Na segunda etapa, é feita uma abordagem geral sobre a origem, volume e classificação dos resíduos gerados pelas indústrias de granitos ornamentais. Na terceira etapa, é feito um estudo sobre meio ambiente e reciclagem dos resíduos. Na quarta etapa, é feito um levantamento sobre o uso dos granitos para uso como matéria-prima cerâmica.

2.1- Granitos Ornamentais e sua Exploração

O conhecimento do homem sobre a utilização das rochas data de longo tempo; primeiramente na manufatura de armas e/ou ferramentas e posteriormente nas construções. Poderíamos citar, entre centenas de outras obras, só na Grécia antiga, a célebre Porta dos Leões em Micenas (século XVII ou XVI A.C.) e o Parthenon (493-431 A.C), erigido na Acrópole pelo grande arquiteto e escultor Fídias (CARUZO, 1985).

Os granitos ornamentais e de revestimentos, também designadas de pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria podem ser definidos como sendo rochas não calcárias capazes de receber polimento e de serem usadas como material de revestimento. Essa conceituação abrange rochas de composições distintas e que satisfazem às condições necessárias para aplicação na construção civil (NITES, 1994). A industrialização das rochas ornamentais pode ser entendida de acordo com o fluxograma da Figura 2.1.

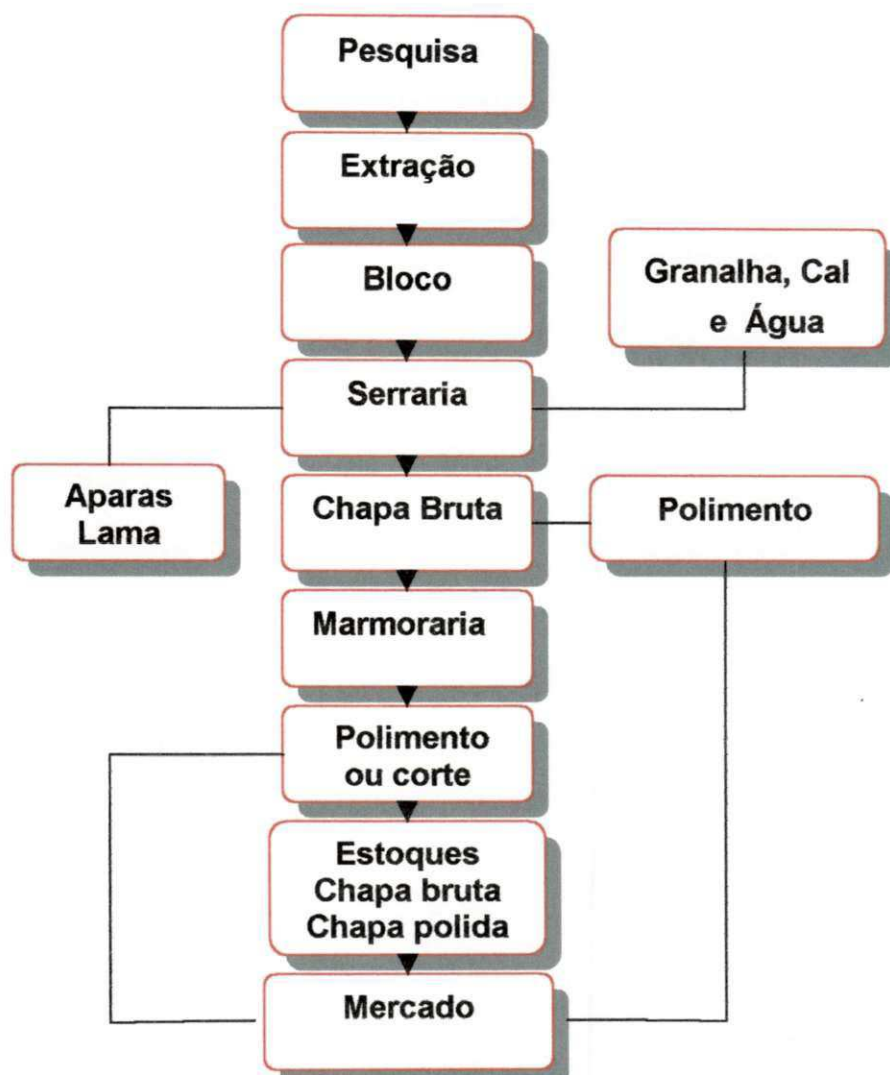


FIGURA 2.1 – Fluxograma de processamento de uma indústria de rochas ornamentais (SILVA, 1998)

Suas principais aplicações incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesas, balcões, lápides e elementos de arte funerária em geral. Em edificações, destacam-se como elementos para revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, bem como para divisórias, prateleiras e bancadas em geral, móveis e objetos de arte como esculturas.

As etapas, de maneira resumida, constam de: estudos de pesquisa e extração necessária à obtenção dos blocos; esses serão transformados em

chapas nas serrarias, constituindo o desdobramento ou serragem. Nesta etapa serão originados os resíduos objeto desta pesquisa. Posteriormente as chapas serão submetidas aos processos de acabamento para obtenção do produto final.

A atividade de extração das rochas ornamentais tem registrado um crescente progresso tanto no aperfeiçoamento de tecnologias tradicionais, como na proposta de técnicas modernas caracterizadas por ótimas prestações de serviço e melhores condições ambientais de trabalho. Em alguns casos significativos, as tecnologias inovadoras apresentaram custos inferiores e muitas vezes demonstraram-se viáveis economicamente, melhorando, ainda, a precisão do corte e mantendo íntegra a qualidade da rocha (CARANASSIOS & CICCUCI, 1992).

Segundo FILHO & RODRIGUES (1999) cerca de 80% da produção mundial é atualmente transformada em chapas e ladrilhos para revestimentos, 15% desdobrada em peças para arte funerária e 5% para outros campos de aplicação. Aproximadamente 60% dos revestimentos referem-se a pisos, 16% a fachadas externas, 14% a interiores e 10% a trabalhos especiais de acabamento.

A exploração de jazida dessas rochas, começou por volta dos anos 50, no Estado de São Paulo, onde foram detectados vários tipos de granitos. Alguns são clássicos mundiais, como: São Paulo (Capão Bonito), Rio Grande do Sul (Royal Red), Espírito Santo (estado onde estão instalados cerca de 40% dos teares, onde se destaca o Giallo Veneziano), Minas Gerais (Verdes Candeias), Bahia (Azul Bahia), Pernambuco (Marron Imperial), Ceará (Asa Branca ou Cotton), Goiás (Rosso Brasília), Rondônia (Amazon Star e Preto Florido) (DANES, 1999).

No campo, essas rochas são observadas de três modos de ocorrências bem caracterizados tais como: a) maciço (corpos contínuos, com extensão considerável, geralmente com alta recuperação em lavra); b) lentes (corpos contínuos, estreitos e alongados, com recuperação boa em lavra e c) matacões (blocos com formas subarredondados, dispostos em agregados com dimensões limitadas e baixas a média recuperação em lavra). As ocorrências na forma de maciços são próprias de granitos, gnaisses e migmatitos, enquanto que os matacões são típicos dos granitos em geral e as lentes são próprias dos mármore e quartzitos (BRITO, 2000).

Essas rochas representam uma das promissoras áreas de negócio do setor mineral, com crescimento médio da produção mundial estimados em 6% a.a, nos últimos dez anos, e com uma comercialização de materiais brutos e produtos acabados/semi-acabados que movimenta US\$ 6 bilhões/ano, no mercado internacional. Estima-se, também, movimentação de US\$ 7 bilhões/ano nos mercados internos de países produtores, bem como de US\$ 5 bilhões/ano para transações com máquinas, equipamentos, insumos, materiais de construção e prestação de serviços (FILHO & RODRIGUES, 1999).

As principais estatísticas do desempenho do Brasil em relação à produção, à exportação, à importação e ao consumo interno de granitos, são mostrados na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 - Estatística da atividade de beneficiamento de rochas ornamentais no Brasil.

Atividades		1998		1999		2000	
		t	US\$ x 10 ³	t	US\$ x 10 ³	t	US\$ x 10 ³
Produção	Blocos de granitos e mármore	2.181.753		2.458.392		2.836.238	
Importação	Mármore em bruto	6.295,5	2.735,0	2.954,9	1.151,9	4.020,0	1.247,0
	Granitos em bruto	561,9	317,4	1.282,7	612,3	339,0	248,0
	Rochas processadas	66.659,6	29.316,0	51.666,0	23.172,1	48.710,0	27.165,0
	Total	73.517	32.368,40	55.903,6	24.935,2	53.069,0	28.660,0
Exportação	Mármore em bruto	5.616,3	1.129,8	9.041,9	1.328,0	9.267,0	1.482,0
	Granitos em bruto	787.994,1	116.712,1	783.572,3	115.245,0	813.315,0	116.766,0
	Rochas processadas	113.165,3	84.341,8	154.796,7	106.053,0	231.289,0	141.152,0
	Total	906.775,7	202.183,7	947.410,9	222.626,0	1.053.871,0	259.400,0
Consumo Aparente Estimado	Blocos de granitos e mármore	1.395.000		1.670.000		2.018.000	

Fonte: DNPM. Sumário Mineral Rochas Ornamentais e de Revestimento, 2001.

O Brasil apresenta uma produção de cerca de 550 tipos comerciais de rochas, entre os granitos, mármore, quartzitos, ardósias, conglomerados, serpentinitos, pedra sabão, talco e materiais do tipo pedra Miracema e pedra de Lagoa Santa, oriundos de aproximadamente 1.000 jazidas em atividade.

São registradas cerca de 300 empresas mineradoras e 250 empresas de beneficiamento, com 1400 teares instalados. Para trabalhos de acabamento final e aplicação, operam cerca de 6.000 marmorarias, estimando-se a existência de 180 empresas exportadoras. Os maiores produtores são os estados de Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Ceará e Paraíba.

De acordo com Sumário Brasileiro de Mineração (SBM, 2001), entre 1999 e 2000 a produção brasileira estimada de blocos de granitos e mármore teve um crescimento de 12,7% em massa; isto resultou, sobre tudo, do aumento do consumo interno e das exportações de rochas processadas que tiveram um incremento de 21,0%. No mesmo período, as importações totais de mármore e granitos (em bruto e processados) decresceram 5,1% em massa, atingindo 53,1 mil toneladas, sendo que, em valor, o decréscimo correspondeu a 11,2%, totalizando US\$ 22,14 milhões.

Segundo NERY et al. (2001), as exportações de rochas processadas no Brasil em 2000 cresceram 49,4% em massa em relação ao período de 1999. Os principais mercados de destino, em valor, foram: EUA (59%), Bélgica (4%), Espanha (3%) e Argentina (3%). Segundo este mesmo autor, ao longo do ano 2000, houve um crescimento no setor, proporcionando implantação de novas unidades de desdobramento, com 85 novos teares de origens nacional e importada, atingido-se a marca de aproximadamente 2030 máquinas em operação em todo país. Aliado a esse fato teve-se a abertura de novas pedreiras, especialmente no norte do Espírito Santo, muitas das quais trabalhando com uma produção superior a 500 m³/mês.

2.2- Resíduos das Indústrias de Granitos Ornamentais

2.2.1 - Origem e Classificação

O acelerado processo de industrialização das empresas de mineração tem contribuído para o aumento significativo na geração de resíduos sólidos. No trabalho realizado por SILVA (1998), os resíduos nas indústrias de rochas

ornamentais são classificados de acordo com sua origem. Segundo este autor, os rejeitos são classificados em três categorias, como segue:

- I. resíduos da pesquisa mineral;
- II. resíduos da lavra (exploração);
- III. beneficiamento (desdobramento de blocos).

Os resíduos provenientes da pesquisa mineral são devidos ao desmatamento e a cobertura vegetal, tendo como causas possíveis as demarcações da área e cálculo da reserva.

Os resíduos oriundos do processo de extração de blocos na jazida são devidos às perdas de material de blocos com dimensões padronizadas, tendo como causas possíveis: os defeitos naturais, cortes inadequados; e cargas de explosivos incorretas.

Os teares são equipamentos robustos, constituídos por quatro colunas, que sustentam quadros que realizam movimentos pendulares. Nesses quadros, são dispostas lâminas de aço, na direção sentido longitudinal do equipamento, paralelas umas às outras. As citadas lâminas são de aço carbono, de alta dureza e boa resistência mecânica, para melhor resistir aos esforços de tração e abrasão (SENAI, 1993).

A mistura abrasiva é bombeada sobre o(s) bloco(s) de modo homogêneo e contínuo, em todas as lâminas (cerca de 100 lâminas constituem os teares, atualmente). Em geral, estes sistemas são constituídos de distribuidores multibraços, cada qual com bicos para a aspersão do fluido abrasivo (ANONIMO, 1998).

2.2.2 - Volume

No Brasil, as serrarias de granito vêm preocupando proprietários, ambientalistas e governantes, pela quantidade crescente de rejeitos em forma de polpa abrasiva chamada de "lama" resultante da ação dos teares, e que precisam ser descartados, o que não tem sido feito sem grandes agressões ambientais. As lagoas e/ou tanques de decantação, utilizados pelos industriais mais conscientes, logo ficam repletos e têm de ser esgotados com grandes transtornos e a um custo

muito elevado. No geral, tais cuidados não integram, ainda, a cultura dos que atuam neste ramo. Para a maioria dos mesmos, córregos, ravinas, lagos naturais e artificiais e até rios, são ótimos repositórios para o rejeito em apreço, dentro da retrógrada visão de que a poluição é ainda, rastro de progresso. Não raro, sequer as faixas de domínio das rodovias são respeitadas, com grandes riscos para motoristas e passageiros que possam vir a cair em grandes poços movediços da citada “polpa abrasiva”, formados nas bacias de aterros-barragens projetados com a finalidade bem mais nobre de reservar águas pluviais. Tal “lama de serragem”, enquanto fluida, afoga plantas e animais, deprecia solos, contamina cursos d’água e mananciais; quando seca, respirada como poeira, é danosa à saúde de homens e animais.

De acordo com estudos realizados pelo NITES (1994), estima-se hoje que o percentual de desperdício, no processo de mineração de pedras ornamentais, chega a 40% (monólitos fora das dimensões padronizadas, lascas e pó de pedra). No processo de serragem pode-se perder até 30% dos blocos, na forma de costaneiras e lama abrasiva. Outras perdas costumam ocorrer causadas por quebra de placas, falhas de empilhamento, defeitos de corte, uso de polpa abrasiva de composição inadequada, lâminas de corte pouco tencionadas e blocos fraturados. Deve-se ressaltar que, durante a manufatura de ladrilhos, pode-se atingir perdas da ordem de 10%. Finalmente, estima-se que quando da aplicação de pedras ornamentais na construção civil, as perdas podem alcançar a cifra de até 30%, sem mencionar os rejeitos do polimento. Devemos esclarecer que os percentuais acima não são cumulativos.

De acordo com pesquisas de FREIRE & MOTTA (1995) bem como de SILVA (1998), o desperdício nas indústrias brasileiras de beneficiamento de granitos, quando da serragem de blocos, chega a variar de 20% a 25% de sua massa, que é transformada em pó, constituinte, em parte, de lamas ou polpa abrasiva resultante do processo. No Espírito Santo, estima-se que a quantidade de rejeitos gerados no beneficiamento de granitos, em um só município, é da ordem de 4000 t/mês.

A Figura 2.2 mostra o resíduo da serragem de granito em forma de polpa da indústria POLIGRAN, localizada no município de Campina Grande-PB.



FIGURA 2.2 – Resíduo da serragem de granito em forma de polpa da industria POLIGRAN.

Dados levantados em duas indústrias, localizadas no estado da Paraíba, que beneficiam e comercializam rochas ornamentais para consumo interno e externo revela o seguinte panorama. Na indústria FUJI S/A a produção diária de resíduo proveniente da serragem de granito é cerca de 5 m^3 por tear. Esse resíduo expurgado na forma de polpa é depositado nos tanques de decantação e após a secagem é retirado da fábrica por caminhões caçamba e levados para terrenos baldios, lagoas e córregos.

De acordo com dados da Industria POLIGRAN S/A, que comercializa granitos e mármore ornamentais, a geração de resíduo da serragem de blocos que são lançados nos locais de “bota- foras” representa um produção diária entre 15 e 18 m^3 . Cerca de 90% desse resíduo é composto de rocha moída, cal e granalha.

Segundo MOTHÉ FILHO et al. (2001), no Brasil a produção de rejeitos oriundos do corte, polimento e acabamento de granito e mármore pelas serrarias é cerca de 200.000 t/ano, a qual necessita ser adequadamente armazenada para evitar contaminação de rios e lagos e conseqüentemente causar assoreamento, desvios dos fluxos d'água, enchentes e destruição das condições biológicas naturais.

2.3 - Impacto Ambiental da Indústria de Mineração de Granitos no Brasil

O termo meio ambiente pode ser compreendido como sendo um jogo de interações complexas entre o meio da base de sustentação (elementos abióticos), os elementos vivos (elementos bióticos) e as práticas sociais realizadas pelo homem. Esta descrição compreende: flora, fauna, processos físicos naturais, biogeociclos, riscos naturais, utilização do espaço pelo homem (GRINOVER, 1989).

Impacto ambiental pode ser definido como uma alteração da qualidade ambiental resultante da modificação de processos naturais ou sociais provocada pela ação humana. Ou, ainda, a alteração na qualidade ambiental como conseqüência dos efeitos ambientais induzidos por projeto de lavra, como por exemplo, alteração da qualidade do ar ou das águas (ARAÚJO, 1995).

Para efeito da Resolução CONAMA nº 001/86, considera-se impacto ambiental qualquer alteração nas características físicas, químicas e/ou naturais do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividade humana, que direta ou indiretamente, afetem:

- a saúde, a segurança e o bem-estar de população;
- as atividades sociais e econômicas;
- as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- a qualidade dos recursos ambientais.

A preocupação com as questões ambientais em todo mundo só teve início a partir da década de 70. Até então, principalmente no período pós-guerra, caracterizado pela aceleração do desenvolvimento industrial, não se discutia a utilização dos recursos naturais de forma sustentável.

Como marco da Legislação Ambiental no Brasil foi estabelecida a Política Nacional do Meio Ambiente, através da Lei 6.938/81. Em 1998 foi lançado pela ONU o conceito de Desenvolvimento Sustentável, que basicamente significa o atendimento às necessidades do presente sem comprometimento às necessidades futuras. Na década de 90, a globalização da economia e o grande avanço dos meios de comunicação, levou também a uma globalização dos conceitos ambientais.

A evolução das questões ambientais junto ao setor de rochas ornamentais pode ser verificada em dois períodos bem definidos: final da década de 80 e final da década de 90. O final da década de 80 foi marcado por um crescimento desordenado, com conseqüência catastrófica para este setor. O comportamento dos mineradores (garimpeiros) e outros curiosos que ingressaram no ramo sem qualquer experiência foi a exploração dos recursos naturais com técnica da década de 60, sem a menor preocupação com meio ambiente.

No final da década de 90 já se nota uma mudança de comportamento frente às questões ambientais. Esses novos paradigmas são ditados mais por uma necessidade de sobrevivência no mercado do que por uma conscientização ambiental. Os empresários perceberam que era mais barato prevenir (gestão pró-ativa), antecipar-se aos problemas e evitar que eles ocorressem (GREGO, 2000).

Nos últimos anos, as indústrias de mineração principalmente as de rochas ornamentais vem sendo citadas como fontes de poluição e/ou contaminação do meio ambiente, devido à enorme quantidade de rejeitos gerados e freqüentemente lançados diretamente nos ecossistemas, sem processos de tratamento prévio para eliminar ou reduzir os constituintes presentes. Um dos pontos cruciais para os empresários reside na forma de como melhor aproveitar tais resíduos do processo de industrialização (NEVES et al., 2000).

Segundo estes autores a construção civil é o ramo da atividade tecnológica que, pelo volume de recursos naturais consumidos, parece ser o mais indicado para absorver rejeitos sólidos, como os das rochas ornamentais.

Segundo MIRANDA & NEVES (2000) o plano correto para o início de qualquer atividade de mineração é aquele em que se planeja em função do uso futuro da área após a mineração, a fim de promover o equilíbrio com o meio

ambiente. O termo recuperação ambiental, usado na nova constituição, é enganoso, pois, quer significar um retorno à situação original, algo que jamais (ou dificilmente) será alcançado. Então a questão é, sobretudo ética. O minerador deve reabilitar a área explorada porque isso é ético e não simplesmente porque a constituição exige. Segundo este mesmo autor, durante a mineração, deve-se minimizar o impacto sobre as águas, em especial, o controle da erosão e sedimentação para preservar a hidrografia. Outro aspecto dessa fase é o cuidado em separar a camada fértil do solo antes da interferência, removendo-a e armazenando-a para futura utilização na vegetação da área.

A Figura 2.3 mostra o impacto ambiental da indústria de mineração de granitos no Brasil.

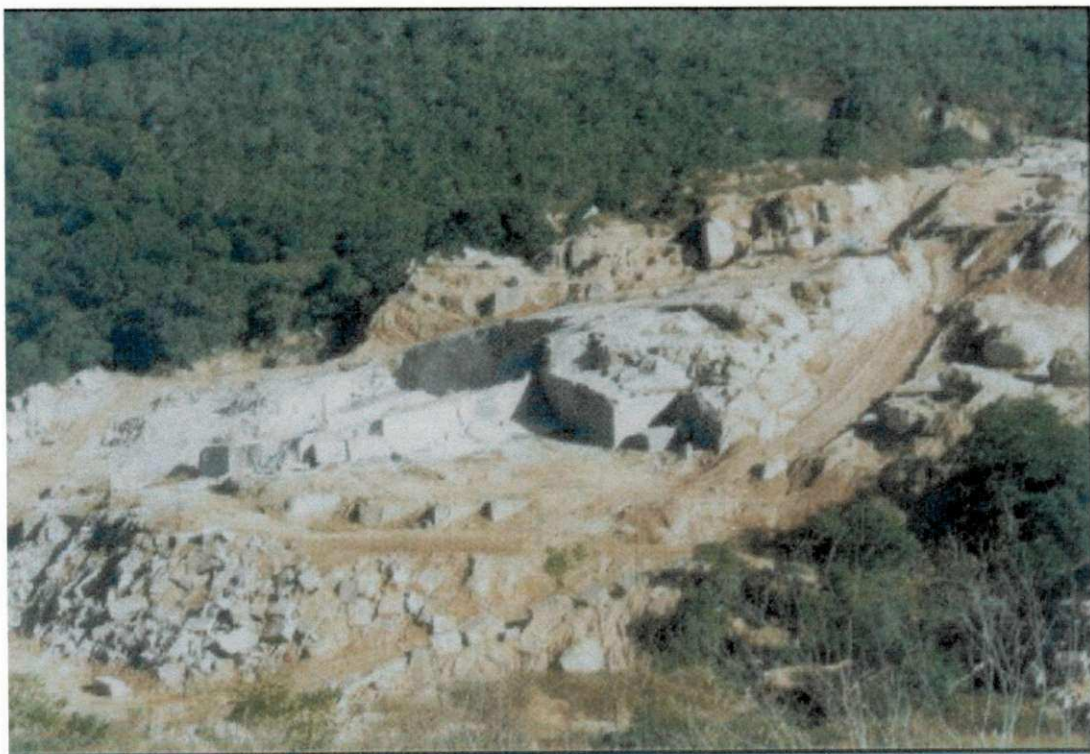


FIGURA 2.3 – Impacto ambiental da indústria de mineração de granitos no Brasil.

Após a mineração, deve-se então reparar o dano, recompondo uma nova superfície revegetada. A importância da cobertura vegetal é que restabelece os

ciclos naturais, produzindo um novo ecossistema, que uma vez consolidado, restabelece o equilíbrio natural. A revegetação significa que houve uma reabilitação ambiental, entre as relações básicas de clima, solo, água e vegetação (MIRANDA & NEVES, 2000). A Figura 2.4 mostra o impacto ambiental causado pela indústria de beneficiamento de granito ornamental.

O Decreto Federal nº 97.632, de 10/04/1989, dispõe que os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais deverão submeter à aprovação do órgão ambiental competente plano de recuperação da área degradada, apresentando Estudo de Impacto Ambiental-EIA e o Relatório de Impacto ao meio ambiente – RIMA.



FIGURA 2.4 – Impacto ambiental da indústria de beneficiamento de granito ornamental.

A exploração dos recursos minerais, para a obtenção dos mais variados bens de consumo essenciais para o bem estar do homem, gera grandes

quantidades de resíduos que agredem a natureza e provocam preocupante degradação ambiental, causando perdas até mesmo irreparáveis (FELLENBERG, 1980).

Tabela 2.2 apresenta os impactos ambientais gerados pelas indústrias de rochas ornamentais.

TABELA 2.2 – Impactos gerados durante a pesquisa mineral, exploração e beneficiamento das rochas ornamentais (SILVA, 1998).

(1) PESQUISA MINERAL	
TIPO	CAUSA DO IMPACTO
Sondagem rotativa ou percussão	Arraste de partículas por águas pluviais.
Sondagem e amostragem de grandes volumes	Revolvimento e turbilhonamento de áreas alagadas e leitos de cursos d'água.
(2) LAVRA (EXPLORAÇÃO)	
TIPO	CAUSA DO IMPACTO
A céu aberto, em bancadas	Arraste de partículas finas, das áreas decapadas, por águas pluviais.
Desmonte hidráulico.	Aporte de partículas por arraste pluvial e lançamento de resíduos sob a forma de polpa provocando assoreamento.
(3) BENEFICIAMENTO	
TIPO	CAUSA DO IMPACTO
Serragem de blocos	Lançamento de rejeitos sob a forma de polpa em tanques de deposição ou nos cursos d'água, com cal e granalha de aço incorporados..
Polimento e corte	Lançamento de rejeitos sob forma de polpa, em tanques de deposição ou nos cursos d'água, podendo conter insumos químicos incorporados.

Os custos do controle ambiental e da recuperação devem ser cobertos pelos beneficiários da mineração, em última análise pelo preço dos bens minerais. A única prática de repassar este custo é através das empresas. A execução deve ser fiscalizada e a recuperação acompanhada até a estabilização final. As práticas nefastas usadas por empresas de todo mundo de minerar e em seguida abrir uma falência sem recuperar, são controladas pela exigência do depósito de uma caução, que é devolvida a medida que a mineração se desenvolve, até a

recuperação final. Falhas no controle e na recuperação são supridas utilizando os recursos da caução. Esta deve ser de valor inicial suficiente para cobrir o custo total do controle ambiental e da recuperação (MACEDO, 1989).

Segundo SEABRA & DARÓS (1998), a estratégia competitiva de uma indústria, levando em consideração o sistema de gerenciamento ambiental, pode ser descrita em etapas de acordo com a Figura 2.5.



FIGURA 2.5 – Estratégias competitivas e sistema de gerenciamento ambiental (SEBRAE & DARÓS ,1998)

O aproveitamento de resíduos é encarado hoje, como atividade complementar que pode, inclusive, contribuir para diversificação dos produtos e diminuição dos custos finais. Uma previsão dos efeitos ocasionados ao meio ambiente deve determinar os diferentes ciclos por que passa a produção de rochas ornamentais. Os depósitos de rejeitos não podem mais ser vistos como

locais puros e simplesmente de armazenamento, nem como a solução mais adequada. As pesquisas que avaliam o aproveitamento desses resíduos são capazes de revelar as potencialidades de uso como matéria-prima para obtenção de novos produtos.

A Figura 2.6 mostra o exemplo de um tanque de decantação onde são dispostos os resíduos da serragem de granitos.

O impacto da atividade extrativa sobre o território e o meio ambiente pode manifestar-se sob vários aspectos e com incidências variadas de acordo com a localização geográfica e a situação morfológica local, com a dimensão das operações, com as características do material extraído, com o método de lavra adotado e com a tecnologia empregada.



FIGURA 2.6 – Exemplo de um tanque de decantação, onde são dispostos os resíduos da serragem de granitos.

Segundo MELO et al. (1989) as possíveis agressões ao meio ambiente pelas indústrias de mineração podem ser perfeitamente contornadas

desenvolvendo-se um plano de lavra racional, aproveitando os rejeitos dos blocos para confecção de paralelepípedos, construindo aterros e muros de contenção que evitem o carreamento de fragmentos de rocha e areia para os mananciais e lagos, quando em contato com águas de chuvas. As atividades das indústrias de mineração, principalmente as de rochas ornamentais, geram enormes quantidades de rejeitos conforme o esquema do fluxo poluente na serragem dos blocos, como pode ser visto na Figura 2.7.

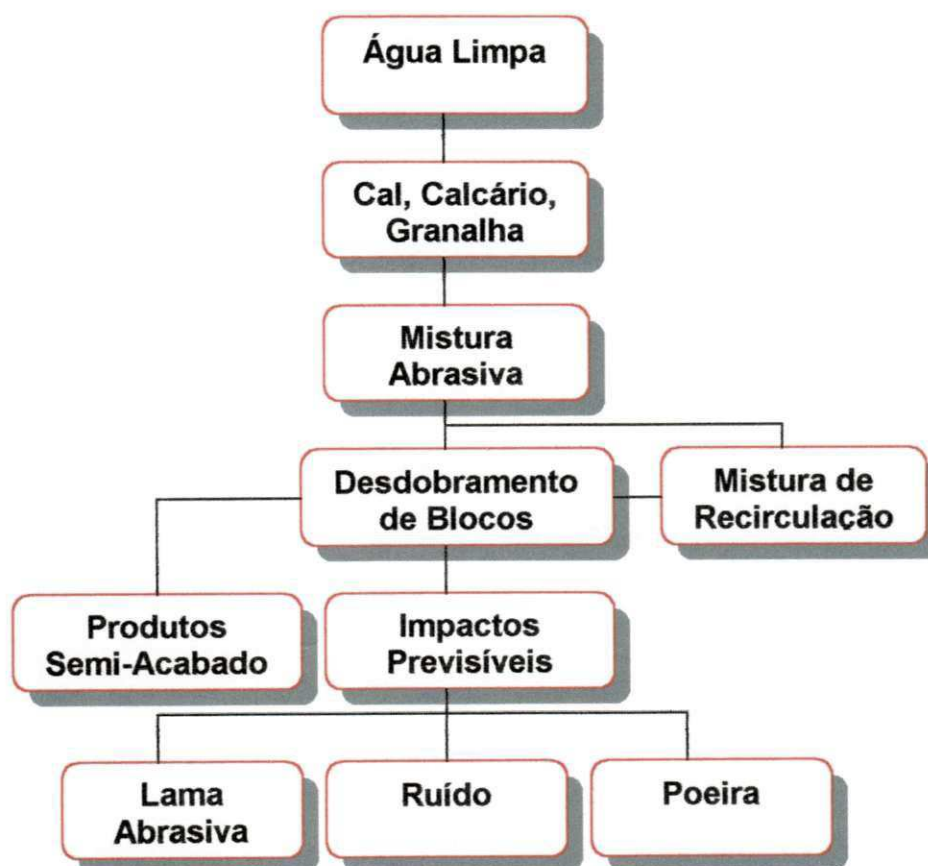


FIGURA 2.7 – Esquema do fluxo poluente da serragem de blocos de rochas ornamentais (SILVA, 1998).

CAIADO & MENDONÇA (1995), estudaram o impacto ambiental causado pelas indústrias de mineração e beneficiamento das rochas ornamentais mármore e granito sobre a qualidade das águas das bacias hidrográficas do Estado do

Espírito Santo. Eles concluíram que as empresas envolvidas causaram alterações significativas na qualidade dos recursos hídricos regionais, com incremento nas concentrações de todos os parâmetros analisados, exceto o magnésio e ferro, que não apresentaram alterações que possam ser caracterizadas como resultado de impactos dessas atividades.

No Brasil as caracterizações ambientais dos resíduos são determinadas segundo as normas da ABNT NBR 10004(1987), NBR 10005(1987), NBR 10006(1987) e NBR 10007(1987). A norma NBR 10004 define três categorias de resíduos sólidos: a) resíduos perigosos, classe I, são aqueles que apresentam como características tais como: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade etc.; b) resíduos não inertes ou classe II, são aqueles que apresentam propriedades a combustibilidade, a biodegradabilidade ou a solubilidade em água; c) resíduos inertes de classe III, definidos como aqueles que em ensaios de solubilização dos resíduos, após 7 dias a água solubilizada apresenta condições de potabilidade, exceto pela cor.

Segundo FERREIRA et al. (2002) a classificação ambiental de resíduos é um processo extremamente complexo não existindo até hoje uma normalização que seja aceita sem restrições. São freqüentes, principalmente na Europa importações e exportações de resíduos para fins industriais que são questionadas em virtude da não aceitação de normas por não haver um consenso quanto a sua eficácia. A norma da ABNT 10004 é atualmente muito questionada por diversos órgãos nacionais ligados a questões ambientais. As maiores críticas referem-se ao fato da norma da ABNT tratar os resíduos de forma independente do tempo, não sendo considerados os efeitos cumulativos dos processos de solubilização e lixiviação. Podemos citar como exemplo os resíduos com elevados teores de chumbo que em virtude de sua elevada massa atômica podem ligar-se a outros compostos, facilitando os processos de sedimentação, podendo resultar na sua acumulação nos leitos de córregos e lagos. Um outro ponto refere-se a presença de alumínio solúvel no resíduo decorrente da serragem e principalmente do polimento de granitos. Estes resíduos com a presença de alumínio solúvel quando descartados diretamente em corpos de água, podem resultar em processo de eutroficação de rios e lagos. Desta forma o descarte dos resíduos de granitos em

rios e lagos representa uma fonte de desequilíbrio no sistema aquático pelos mecanismos já citados e também através dos processos de sedimentação e assoreamento resultando na perda de espécies nativas o que é altamente indesejável.

A Tabela 2.3. apresenta a caracterização ambiental através do processo de lixiviação de alguns resíduos de granitos do estado do Espírito Santos segundo a norma da ABNT NBR 10004. Os resultados demonstraram que os resíduos da serragem de granito não podem ser considerados como resíduos perigosos (classe I).

TABELA 2.3 - Resultados da caracterização ambiental através do processo de lixiviação realizado nos resíduos da serragem de granito do Estado do Espírito Santo (SILVA, 1998).

Elementos Químicos	Resíduo				Padrão NBR 10004 (mg/l)
	Resíduo 01 (mg/l)	Resíduo 02 (mg/l)	Resíduo 03 (mg/l)	Resíduo 04 (mg/l)	
Prata	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	5,0
Cádmio	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,5
Cromo	< 0,02	< 0,02	0,04	0,04	5,0
Chumbo	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05	5,0
Bário	1,16	1,16	4,20	4,40	100,0

2.4 - Reciclagem de Resíduos

Pesquisas sobre reciclagem de resíduos industriais vêm sendo desenvolvidas em todo mundo. No Brasil diversos pesquisadores tem intensificado estudos sobre este assunto. A reciclagem pode ser classificada como primária, secundária ou reaproveitamento.

Reciclagem primária pode ser conceituada com sendo um "re-emprego ou uma reutilização de um produto para mesma finalidade que o gerou" (GPI, 1996, p.2).

Reciclagem secundária pode ser definida como sendo um "re-emprego ou reutilização de um produto para uma finalidade que não a mesma que o gerou" (GNR, 1996, p.3).

O reaproveitamento de resíduo pode ser entendido, como sendo uma forma de utilizá-lo sem que haja necessidade de submetê-lo a qualquer processo de beneficiamento, tal como britagem ou moagem (LEVY, 1997).

Quando estes conceitos forem aplicados aos resíduos da serragem de granitos neste trabalho, o significado deve ser compreendido como sendo um processo de beneficiamento, constituído de uma secagem e moagem, que permita obter um material, cuja granulometria esteja dentro dos limites especificados e assim possibilite seu uso como matéria-prima cerâmica.

De acordo com WASTE AGE (1992), na América do Norte em especial nos EE.UU. a reciclagem é vista como um mercado altamente rentável pela iniciativa privada. Muitas empresas possuem equipamentos sofisticados, o que acaba aumentando a qualidade do produto reciclado e a eficiência do sistema.

As propriedades de certos resíduos ou materiais secundários permitem a sua aplicação para fabricação de novos produtos cerâmicos, em substituição parcial ou total das matérias-primas, utilizadas normalmente nos materiais convencionais.

A reciclagem de resíduos para produção de novos materiais segundo ENBRI (1994), permitem:

- a) redução do volume de extração de matérias-primas;
- b) conservação de matérias-primas não renováveis;
- c) redução do consumo de energia;
- d) menores emissões de poluentes, com o CO₂;
- e) melhoria da saúde e segurança da população.

A reciclagem e a reutilização de resíduos como novos materiais ultrapassam então o contexto da análise de resistência mecânica e estabilidade dimensional de um novo produto e deve ser inserida em um contexto mais geral de avaliação ambiental. Esta avaliação envolve um melhor conhecimento do produto e conseqüentemente sua caracterização e análise do seu comportamento (CAVALCANTE & CHERIA, 1996).

Segundo JOHN (2000) a vantagem mais visível da contribuição ambiental da reciclagem é a preservação dos recursos naturais, substituindo por resíduos, prolongando a vida útil das reservas naturais e reduzindo a destruição da paisagem, flora e fauna.

A reciclagem de resíduos pode ser objeto da ação de profissionais com posições bem diferentes: a) o formulador de políticas de gestão ambiental deve ser interessado em selecionar quais os resíduos mais importantes, tanto do ponto de vista da quantidade quanto da agressividade ambiental; b) o pesquisador ou o formulador de políticas públicas, deve-se interessar em buscar dentre os resíduos existentes na sua região, uma alternativa adequada para a produção de um produto específico e c) o gerador de um resíduo específico deve buscar alternativas para reciclagem.

Segundo PONTES (2000), a reciclagem e o aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção é de fundamental importância para controle e minimização dos problemas ambientais causados pela geração de resíduos de atividades industriais e urbanas, tais como: mineração, metalurgia, química, construção civil e limpeza urbana.

Alguns resíduos apresentam propriedades que permitem a sua utilização em substituição parcial ou total da matéria-prima, utilizada como insumo convencional. O aproveitamento destes resíduos na construção civil requer uma avaliação dos aspectos econômicos e tecnológicos, bem como, do risco de contaminação ambiental que o uso de matérias com resíduos incorporados poderá ocasionar durante o ciclo de vida do material e após a sua destinação final.

A reciclagem de resíduos é uma das maneiras de diversificar a oferta de matéria-prima para produção de componentes cerâmicos, viabilizando eventualmente reduções de preço. Assim, a reciclagem de rejeitos como matéria-prima cerâmica, contribui para a preservação ambiental e para o aperfeiçoamento de política social, (JOHN, 2000). Este mesmo autor diz que a caracterização do resíduo industrial a ser incorporado em matriz cerâmica envolve aspectos químicos, físicos e de risco ambiental, tanto em seus valores médios como na sua dispersão ao longo do tempo.

A Figura 2.8 apresenta um esboço de hierarquia para seleção das alternativas de investigação. O ambiente, o mercado e a tecnologia são três variáveis subordinadas à reciclagem.



FIGURA 2.8 – Modelo hipotético de hierarquia para seleção das alternativas para reciclagem (JOHN, 2000).

Segundo DIAS & JOHN (2001), a reciclagem vislumbra os seguintes benefícios: eliminação das despesas com descartes, eliminação dos pontos de deposição - focos de problemas - melhorias das condições de insalubridade e visuais no entorno das cidades produtoras, redução da exploração de agregados naturais - com preservação das áreas de terra com potencial produtivo, instalação de nova atividade produtiva – geração de empregos, mudança cultural na cidade e região com valorização das atividades sustentáveis e fontes de novos recursos para as indústrias.

2.5 - Reciclagem de Resíduos para Uso como Matérias-Primas Cerâmicas

A reciclagem e reutilização de resíduos provenientes de diferentes processos industriais como novas matérias-primas cerâmicas tem sido objeto de pesquisas em diversas instituições e têm-se buscado soluções que consideram vários aspectos: a proximidade com a fonte geradora de resíduos, o tipo e a quantidade de resíduo disponível, a tecnologia e tipos de produtos que poderão

absorvê-lo, o custo de descarte e tratamento e, finalmente, o impacto econômico e ambiental da reciclagem do resíduo.

A incorporação de resíduos nos processos cerâmicos implica sempre obter pelo menos três vantagens: a reciclagem e inertização dos resíduos freqüentemente poluentes e de difícil eliminação, economia de matérias-primas e conseqüentemente aumento da vida útil das jazidas e redução de custos.

O aproveitamento de resíduo como matéria-prima cerâmica tem na realidade, efeitos positivos nas propriedades dos produtos cerâmicos semi-acabados e acabados, ainda que em alguns casos, o desempenho possa piorar em alguns aspectos. Os efeitos do resíduo influenciam em todas as fases do processo (moldagem, secagem e sinterização) e tem repercussão em propriedades dos produtos acabados, tais como, retração, porosidade, absorção de água resistência mecânica (DONDI, FABBRI & MARSIGLI, 1998).

A reciclagem dos resíduos para uso como matéria-prima cerâmica pode ser classificada em quatro categorias em relação aos efeitos mais importantes: resíduos redutores de plasticidade; resíduos fundentes; resíduos combustíveis e cinzas volantes.

Os resíduos redutores de plasticidade são provenientes das indústrias de mineração e de metalurgia. Estes geralmente apresentam composições químicas e granulométricas bastante variáveis, dependendo da sua origem. As quantidades de resíduos incorporados as matrizes cerâmicas podem variar entre 10%-60%, provocando uma ligeira mudança nas propriedades mecânicas, retração e absorção, deixando as restantes sem alteração (SABRAH & EBIED, 1987).

Dentre esses resíduos pode-se citar: os da extração de ardósia, que se mostram adequados a produção de peças por colagem; os provenientes de esteatitos e pedra sabão, que se mostram potencialmente utilizáveis na fabricação de revestimentos cerâmicos; os resíduos argilosos em geral, que podem compor a formulação de composições para a produção de telhas, tijolos e revestimentos cerâmicos (WENDER & BALDO, 1998). Com grande destaque encontram-se os resíduos da mineração e beneficiamento de caulim e rochas graníticas, já tendo sido verificada suas aplicabilidades na produção de tijolos e

na confecção de argamassas (SOUZA, 1998; MIRANDA et al. 2001; LIMA et al. 2001; NEVES et al., 2001).

Os resíduos da mineração e beneficiamento de rochas estão sendo largamente estudados em virtude do grande impacto ambiental provocado quando descartados indiscriminadamente na natureza e do enorme potencial que possuem como matérias-primas cerâmicas. Estes resíduos são em geral descartados em lagos, rios, faixas de domínio de rodovias e ao redor das mineradoras (ou empresas de beneficiamento) causando uma série de agressões ao meio ambiente, principalmente quando se encontram em forma seca e pulverulenta.

A preocupação crescente com este tipo de resíduo baseia-se também nos elevados índices de crescimento do setor mineral em todo o mundo, especialmente no que diz respeito às rochas ornamentais. O que, aliado ao elevado desperdício, gera um cenário altamente preocupante tanto para ambientalistas como para a sociedade em geral.

Esse quadro de preocupação tem levado a se repensar a forma de utilização dos resíduos minerais nas formulações cerâmicas. Alguns anos atrás eram feitas pequenas adições às massas cerâmicas (em torno de 10 a 20%), todavia estas aplicações não são suficientes para absorver as enormes quantidades de rejeito, passando alguns estudos (RAIGÓN et al., 1998), principalmente na Europa, a analisar o uso de formulações compostas com elevado teor de resíduos ($\geq 50\%$), chegando a trabalharem com formulações compostas exclusivamente por resíduos.

Até o momento mostrou-se que os resíduos minerais compõem a maioria dos resíduos redutores de plasticidade; no entanto, alguns outros resíduos podem ser enquadrados nesse grupo, por exemplo resíduos oriundos da própria indústria cerâmica (rejeitos de tijolos e revestimentos e peças com defeito). Esses resíduos são em grande parte absorvidos pela própria indústria geradora e em alguns outros são utilizados em outras indústrias, como a cimenteira. A própria indústria cimenteira é uma grande geradora de resíduos, que quando não coletados adequadamente podem provocar vários problemas respiratórios à população,

sendo sua reutilização totalmente possível dentro do próprio processo produtivo ou em algum outro ramo cerâmico.

Outro resíduo que merece destaque e pode ser enquadrado como redutor de plasticidade é o resíduo de amianto. Este material, por ser considerado cancerígeno, teve sua utilização abolida nas últimas décadas nos EUA, Europa e alguns países da Ásia, com os produtos contendo amianto tendo que passar por tratamentos que evitem seu contato com o ser humano. Dentre esses tratamentos tem-se a sua utilização como matéria-prima cerâmica alternativa, sofrendo decomposição e reagindo com os demais constituintes da massa no decorrer da queima e transformando-se em materiais não nocivos à saúde. Pode ser utilizado na produção de cerâmicas tradicionais sem redução na qualidade do produto final (GUALTIERI & TARTAGLIA, 2000). No Brasil o amianto sofre algumas restrições; no entanto ainda é muito utilizado na produção de telhas e reservatórios de água.

A Tabela 2.4 apresenta alguns tipos de resíduos redutores de plasticidades utilizadas em composições de massas cerâmicas.

TABELA 2.4 - Propriedades cerâmicas de corpos de prova incorporados com resíduos redutores de plasticidades (DONDI, FABBRI & MARSIGLI, 1998).

Propriedades	Tipo de Resíduo				
	Pó de Basalto	Chamota Lama	Pó de Cimento	Dolomita	Chamota Refratária
Teor de resíduo(%)	10-30	20-60	10-30	10	10-50
Técnica de moldagem	Extrusão	Extrusão	Extrusão	Extrusão	Manual
Resistência à flexão após secagem(MPa)	ND	ND	ND	4-6	ND
Retração de secagem (%)	8-10	9-12	10-11	6-8	7-8
Temperatura de queima (°C)	900 1000	900 1000	900 1050	980	950 1000
Absorção de água (%)	10-15	6-11	17-25	10-13	19-20
Retração linear após queima (%)	1-2	3-6	1-2	0-1	0-2
Resistência à flexão após queima(MPa)	3-10	4-20	6-15	7-10	4-9

ND-Não Determinado.

Neste ponto é interessante ressaltar que os resíduos definidos aqui como redutores de plasticidade não necessariamente atuam exclusivamente reduzindo a plasticidade das massas cerâmicas, podendo atuar também como agentes formadores de fase vítrea, o que em muitas aplicações é um fator de grande influência no sucesso do uso desses resíduos na produção de tijolos, revestimentos, grés e produtos de baixa absorção de água (produtos com grande valor agregado). A fase vítrea formada pode atuar preenchendo os poros do material ou como uma matriz vítrea ligante de grãos cristalinos.

Os resíduos fundentes são geralmente provenientes da lama de esmaltação das fábricas cerâmicas, indústrias mecânicas e metalúrgicas. Estes resíduos têm uma composição sílico aluminosa ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 > 50\%$), com porcentagens variáveis de metais pesados, que em alguns casos, prevalecem, os alcalinos e os alcalinos terrosos. Estas lamas apresentam freqüentemente vestígios de Cr, Co, Ni, Cd, Cu, etc. A principal característica deste tipo de resíduo é produzir efeito de "fusão", que ocorre com uma redução substancial na porosidade quando as massas são queimadas às mesmas temperaturas. Uma das vantagens é a possibilidade de poupar energia devido à baixa temperatura de queima.

A título de ilustração tem-se a produção de "tijolos ecológicos" (DOMÍNGUEZ & ULLMANN, 1996) com argilas e resíduos da indústria do aço contaminados com Zn, Pb, Cu, Ni e Cr, havendo a neutralização dos agentes poluentes. Outros exemplos de estudos bem sucedidos são a utilização de rejeito de água de unidades de galvanização, de resíduos de escória de alto forno (ELWAN & HASSAN, 1998) e de resíduos de aciaria na produção de tijolos, telhas, blocos e revestimentos cerâmicos, sendo atingida boa inertização dos agentes poluentes.

Nesse sentido é de extrema importância abordar a capacidade de inertização de metais pesados por parte dos materiais cerâmicos. Tecnologias envolvendo a transformação de resíduos em aglomerados cimentícios, em vidros ou vitrocerâmicos (vidro que após fusão sofre um processo de cristalização parcial) têm adquirido, a cada dia, mais importância econômica.

A imobilização em matrizes cimentícias, como por exemplo cimento Portland, não requer tratamentos térmicos para transformar resíduos nocivos em inertes

imersos em uma matriz estável. O produto final é resistente a agentes ambientais agressivos e é usualmente aprovado nos ensaios de resistência a lixiviação, podendo por conseguinte ser depositado de forma segura em aterros. Entretanto este processo está experimentando uma crescente oposição em muitos países da comunidade europeia, em virtude da estabilidade dos materiais cimentícios não estar definitivamente comprovada e também porque o volume da mistura cimentante é bem maior que o do resíduo, o que reduz a capacidade dos aterros, além do que a mistura com materiais nocivos nem sempre pode ser reutilizada na indústria da construção civil (PELINO, 2000).

Alternativamente a tecnologia de cerâmicas cristalinas (nesse sentido entendam-se materiais que sofreram um processo de queima, já que se está considerando o cimento como um material cerâmico) e do vidro é considerada a mais versátil para a imobilização de resíduos nocivos à saúde, já que elas destroem a matéria orgânica, imobilizam metais pesados em uma matriz comprovadamente estável, com consistente redução do volume e são capazes de converter composições químicas complexas em materiais usuais, com grande potencial de aplicação no mercado.

Essa tecnologia baseia-se na incorporação, na estrutura cristalina, dos elementos presentes nos resíduos, seja por meio de solução sólida ou intersticial; na formação de fases vítreas que atuam como matriz estável, imobilizando outras fases, dentre essas as referentes aos resíduos, ou a total fusão do material com formação de um vidro estável à lixiviação ou às condições agressivas do meio. Particularmente, a vitrificação de resíduos nocivos é considerada um processo de estabilização ambientalmente correto, em virtude da grande resistência química dos produtos vítreos à maioria das condições ambientais. Resistência essa, relacionada ao fato dos componentes nocivos, essencialmente, metais pesados, efetuarem ligações em nível atômico na estrutura do vidro (PISCIELLA et al., 2001).

Nesse enfoque está centrada grande parte dos estudos dedicados atualmente à reciclagem de resíduos industriais e urbanos, sendo possível a produção de vidros e vidros-cerâmicos aplicados a uma série de usos comerciais, como

vidrados, fibras de vidro, ligantes, pigmentos, etc., sendo aprofundado ao se abordar cinzas volantes e resíduos urbanos.

É importante salientar que os resíduos fundentes apesar de diminuírem a temperatura de maturação dos corpos cerâmicos não necessariamente por si só, possibilitam uma adequada maturação do corpo (MONTANARO, 2001) ou a formação de vidros com características adequadas ao processamento cerâmico. Na maioria dos casos a formulação de composições para obtenção de vidros e vitrocerâmicos, dentro das características do processamento cerâmico, utiliza algumas outras matérias-primas, tais como, areia, calcário, e até mesmo outros tipos de resíduos, como os da indústria do vidro (que dependendo da forma de abordagem e do processamento podem ser considerados redutores de plasticidade), da serragem e beneficiamento do granito, etc. Nesse enfoque alguns pesquisadores advogam que em verdade não se está trabalhando necessariamente com vidros ou cerâmicas e sim com compósitos em virtude da grande variabilidade na natureza dos materiais envolvidos, enfoque esse a que não se dará maior aprofundamento por se tratar de uma questão complexa cujo debate foge ao escopo deste trabalho.

Resíduos com caráter fundente particular são os do processo de fabricação de produtos cerâmicos esmaltados, constituídos basicamente por restos de matérias-primas, peças cruas, produtos acabados fora de especificação e lamas provenientes do tratamento das águas de limpeza (MONFORT & ENRIQUE, 1996), por situarem-se na fronteira entre os redutores de plasticidade e fundentes, já que a forma de coleta impede a separação entre esmalte e lamas de esmaltação (fundentes) das peças cruas e queimadas fora de especificação (redutores de plasticidade). Esses resíduos possuem elevado teor de álcalis e somente 10% desses resíduos podem ser tóxicos ou perigosos e, na sua grande maioria, já sofreram as transformações térmicas do processo de queima, podendo ser adicionados em elevadas quantidades na formulação das massas cerâmicas (ROMANO & MORENO, 2001).

Deve-se lembrar que não apenas a produção de peças cerâmicas mais “rústicas” (tijolos, telhas, revestimentos, etc.), mais também setores de cerâmica fina podem absorver resíduos fundentes, a exemplo da utilização de rejeitos

provenientes da indústria metalúrgica na produção de vidrados cerâmicos, fibras de vidro, ligantes para abrasivos, etc. (HERMAN, 1998; YALÇIN & SERVİNÇ, 2000).

Nesse sentido tem-se como exemplo a descoberta da possibilidade de utilização do resíduo do processo Bayer – processo de produção de alumina – que consiste em uma lama vermelha com elevado teor de sódio, na produção de vidrados para uma série de produtos. Ressaltando que esse rejeito também pode ser utilizado com sucesso na produção de tijolos. Essa lama é o principal problema enfrentado pelas refinarias por ser altamente agressiva ao meio ambiente e de difícil armazenamento, devido ao enorme volume de material produzido diariamente, o que provoca grandes gastos às empresas e potenciais e permanentes riscos de contaminação do solo e de lençóis freáticos.

Por fim, um ponto que merece ser destacado e com que se deve tomar muitas precauções, é a possibilidade de liberação de produtos voláteis durante a queima de resíduos fundentes, que podem ser altamente danosos aos refratários dos fornos cerâmicos e também ao meio ambiente. Isto evidencia a necessidade desses resíduos serem manipulados apenas após terem sido implantadas todas as medidas de segurança necessárias à total garantia da saúde dos operários e da preservação do meio ambiente.

Escórias produzidas por tratamento físico-químico de rejeito de águas provenientes de plantas de galvanização foram física e quimicamente caracterizadas e incorporadas à pasta cerâmica. Esse rejeito foi adicionado a uma composição típica para fabricar tijolo e foram estudadas as propriedades das amostras no estado úmido e após a sinterização. Os riscos ambientais com adição de escórias ricas em metais pesados como Cr, Pb, Zn, Cu, Ni etc, foram avaliados por lixiviação em corpos de prova acabados. Os resultados mostraram que 15% de rejeito pode ser incorporado na massa cerâmica sem afetar as características físicas do produto final. Além disso, uma adequada inertização dos agentes poluentes foi encontrada (FERREIRA et al., 1999).

A Tabela 2.5 apresenta propriedades cerâmicas de tijolos que contêm resíduos fundentes de acordo com trabalhos de vários autores: PALMONARI &

TENAGLIA (1985), FACINCANI & BORRONI (1987), MARMS et al. (1997) e DOMINGUEZ & ULLMAN (1996).

TABELA 2.5 - Propriedades cerâmicas de tijolos incorporados com resíduos fundentes.

Tipo de Resíduo	Resíduo (%)	T. Queima (°C)	AA (%)	TRF (MPa)	RL (%)	Conformação
Aço Metalúrgico	20	830	16-18	8-12	<1	Extrusão
Lama de Esmaltação	50	900	2-9	24-31	9	Extrusão
Hidróxido de Metal	2-20	920-1050	0-15	18-46	3-9	Extrusão
Resíduo Cerâmico	80	550-620	5-18	ND	<1	Manual

AA- Absorção de Água; TRF- Tensão de Ruptura à Flexão; RL- Retração Linear na Queima

Os resíduos combustíveis são geralmente provenientes de processos industriais que contém um elevado teor de substâncias orgânicas e/ou carbônicas, que lhes confere um alto poder calorífico. Esta categoria inclui os resíduos das estações de tratamento de lixo urbano, resíduos de exploração de carvão, resíduos da indústria têxtil e de curtume, resíduos derivados de petróleo e resíduos da indústria de papel e madeira.

A utilização de resíduos combustíveis por parte das indústrias cerâmicas pode ser efetuada de duas maneiras, por incorporação dos resíduos à massa cerâmica ou mistura com os combustíveis responsáveis pela queima do corpo cerâmico, sendo que, em ambos os casos, são utilizados o poder calorífico dos resíduos para auxiliar na queima.

A uso de materiais combustíveis como auxiliares de queima pode chegar a propiciar economia energética da ordem dos 45%, todavia muitos cuidados devem ser tomados ao se fazer uso de resíduos na queima, já que podem liberar vários gases altamente nocivos à saúde humana, sendo altamente recomendado o uso de filtros para gases (existem filtros apenas para particulados) quando se utilizem estes resíduos. O que é indispensável, mas, muitas vezes é ignorado por vários produtores cerâmicos, seja por falta de informação (pequenos produtores)

frações granulométricas do particulado mais pesado, observa-se que o “bottom ash” é constituído essencialmente por materiais vítreos, cerâmicas sintéticas, minerais, pequena quantidade de metais magnéticos e por metais pesados, que se concentram na fração mais fina (CHIMENOS et al., 1999).

Em virtude das regulamentações que reforçam as medidas de proteção ambiental há um grande interesse em se encontrarem opções tecnológicas capazes de converter estes resíduos em novos materiais para o mercado. A tecnologia cerâmica da vitrificação e vitrificação com recristalização controlada parece ser a solução mais promissora, em virtude de converter resíduos em materiais com boas propriedades tecnológicas a um custo relativamente baixo.

As cinzas volantes, provenientes de termoelétricas e incineradores, bem como os “bottom ash” vem sendo reutilizados com grande sucesso na forma de matérias-primas para produção de vidros, vidros-cerâmicos e compósitos com matriz vítrea, em virtude principalmente de se poder transformar composições químicas complexas, contendo metais pesados, em produtos não danosos ao meio ambiente. Ademais, em virtude de sua forma pulverulenta e pelo montante produzido é muito mais conveniente à produção de vidros e vitrocerâmicos, que materiais mais comumente utilizados para esse fim, como algumas escórias siderúrgicas (EROL et al., 2001).

Em particular as propriedades que um vidro deve exibir, tais como bom comportamento de fusão, homogeneidade e durabilidade, estão intimamente relacionadas com sua composição química. Nessa perspectiva é importante que resíduos de diferentes origens sejam submetidos simultaneamente ao processo de vitrificação a fim de que cada um possa contribuir com as quantidades apropriadas de agentes vitrificantes (SiO_2 , Al_2O_3 ,...), fundentes (Na_2O , K_2O ,...) e estabilizadores (CaO , MgO , ZnO , PbO ,...) a fim de que sejam obtidas características físico-químicas adequadas no produto final.

O processo de vitrificação simula o que realmente ocorre na natureza: vidros naturais produzidos por erupções vulcânicas são basicamente materiais inertes mesmo quando contêm elementos tóxicos, em virtude desses elementos estarem imersos em uma matriz vítrea extremamente estável. Similarmente os vidros produzidos com resíduos também são muito estáveis às agressões ambientais,

não liberando quantidades significativas de elementos tóxicos, sendo as quantidades liberadas infinitesimalmente inferiores às liberadas quando o resíduo não está vitrificado ou imerso em matriz vítrea (BARBIERI et al., 2000b).

Assim objetivando desenvolver materiais altamente resistentes às condições ambientais bem como obter produtos com características comerciais, vários estudos têm se detido à análise do comportamento de vitrificação de formulações obtidas pela mistura de vários tipos de resíduos (indústria metalúrgica, da mineração, do vidro, etc.) com cinzas volantes. Relembrando que por vezes faz-se necessário adição de matérias-primas convencionais às formulações (MISHRA et al., 2000; CRESPO & RINCÓN, 2001).

No que se refere aos compósitos é interessante mencionar que estes são particularmente importantes quando se trabalha conjuntamente com resíduos metalúrgicos e de extração mineral constituídos basicamente por óxidos metálicos não adequados a vitrificação, já que a combinação com cinzas volantes pode proporcionar a obtenção de materiais compostos por matriz vítrea, que impedem a lixiviação dos metais e que ao mesmo tempo possuem aplicações tecnológicas, sem perigos ao meio ambiente, havendo nesses casos uma real caracterização do material como um compósito.

2.6 - Reciclagem dos Resíduos de Granitos

Os trabalhos desenvolvidos, sobre reciclagem dos resíduos do beneficiamento de granitos são incipientes podendo-se destacar algumas pesquisas.

Segundo FREIRE & MOTTA (1995), algumas características específicas dos resíduos graníticos são favoráveis à sua utilização industrial, podendo citar, como exemplos, sua fina granulometria, sua composição química pré-definida e inexistência de grãos mistos entre os componentes básicos. Outra conclusão dos autores é que este rejeito apresenta potencialidade para ser aplicável como matéria-prima cerâmica e carga mineral.

RAIGON et al. (1998), encontraram experimentalmente que os resíduos sólidos provenientes de alteração de rochas graníticas poderiam ser utilizados

como matérias-primas cerâmicas para fabricação de azulejos. Esta constatação foi confirmada através de ensaios de caracterização mineralógica tais como: análise química, raios-X e microscopia eletrônica de varredura. Os ensaios tecnológicos foram realizados em corpos de prova sinterizados a 1000°C, 1150°C e 1200°C. A principal conclusão foi que, a combinação dos fatores composição mineralógica adequada, teor elevado de caulinita, composição química e a granulação fina, tornou este tipo de resíduo bastante útil para fabricar produtos cerâmicos de alto valor agregado.

CALMON et al. (1997) e SILVA (1998), desenvolveram estudos com o objetivo de verificar o aproveitamento do rejeito da serragem do granito, para produção de argamassas de assentamento destinadas a alvenarias. A partir da caracterização física, química e tecnológica, verificou-se que os rejeitos estudados apresentaram um bom potencial para serem utilizados em argamassas industrializadas. Estes mesmos autores, em novos estudos, atestaram o potencial de uso desse rejeito para produção de tijolos solo-cimento.

ROSA et al. (1999), pesquisaram a utilização de resíduos industriais de granitos para uso em composições cerâmicas. Utilizaram diferentes técnicas para determinar a composição química e mineralógica, bem como o comportamento da queima dos resíduos de mineração. Com base nos resultados verificou-se que o resíduo estudado apresenta formação de fase vítrea após sinterização em temperaturas entre 1050° C e 1180° C.

Trabalho de BARROTE (2000), evidenciou o uso de rejeitos (cacos) de mármore e granito para composição de massa cerâmica, salientando que a adição desse resíduo contribui para um maior aproveitamento dos recursos naturais, como também promove melhoria no progresso da sociedade.

XAVIER et al. (2001), incorporaram resíduo oriundo do corte de blocos de mármore do município de Italva-RJ, em massa cerâmica para produção de cerâmica vermelha para uso em construção civil. Os resultados indicaram a possibilidade de uso destes rejeitos na confecção de artefatos cerâmicos.

MOTHÉ FILHO et al. (2001), pesquisaram as propriedades térmicas e mecânicas dos resíduos de mármore e granito do Estado do Espírito Santo para uso cerâmico. Os resultados evidenciaram que a adição de até 10% do rejeito

incorporado à matriz cerâmica para produção de tijolos é adequada, salientando, no entanto a necessidade de estudos de formulação, sinterização e monitoramento por análise térmica e mecânica.

MENEZES, NEVES & FERREIRA (2001), estudaram a incorporação a uma matriz cerâmica de resíduo de granito oriundo da decantação de efluente industrial no processo de obtenção de agregados graúdos para concretos (brita), para uso em cerâmica vermelha visando produção de tijolos e telhas. Os percentuais de resíduos adicionados às composições cerâmicas variaram de 0 a 60%.

Segundo PONTES & JUNIOR (2001), a elevada concentração de ferro presente nos resíduos da serragem de granitos foram removidos em até 75% através de separação magnética de alta intensidade. Segundo estes autores, esta redução viabiliza sua utilização em uso cerâmico mais nobre. Entretanto os resultados obtidos através da remoção com ciclone não foram satisfatórios, devendo estudos mais aprofundados serem realizados.

A Universidade Federal da Paraíba, através dos Departamentos de Engenharia de Materiais e de Engenharia Civil, tem desenvolvido pesquisas visando o aproveitamento dos rejeitos da serragem de granito, para utilização como insumo na produção de argamassas de assentamento e revestimentos de alvenarias em geral, na manufatura de tijolos e blocos estruturais não cerâmicos, de pedras ornamentais sintéticas, tijolos cerâmicos, de ladrilhos cerâmicos rústicos e grés sanitário (NEVES et al, 1999).

NEVES et al. (1998), verificaram a possibilidade de utilização de rejeitos da serragem de granitos como matéria-prima cerâmica. Os ensaios tecnológicos foram executados de acordo com a sistemática proposta por SOUZA SANTOS (1992) para ensaios cerâmicos preliminares. Os resíduos foram adicionados na proporção de 10%, 20% e 30% em relação à massa de argila e moldados sobre uma pressão de 20MPa. Os resultados demonstraram a probabilidade de uso desses resíduos na produção de elementos construtivos cerâmicos (tijolos e blocos).

Trabalho desenvolvido por SOBRINHO (1998) e MORAIS et al. (1998), evidenciou a possibilidade de utilização dos rejeitos provenientes do

beneficiamento de granitos e mármore na produção de argamassas alternativas. Os resíduos foram utilizados na forma de agregados, para traços normalmente usados na construção civil. Os resultados mostraram que o comportamento mecânico e as suas propriedades físicas são similares às dos agregados convencionais, portanto podendo, ser utilizados na preparação de argamassas, desde que se façam estudos complementares para cada caso específico.

SOBRINHO et al. (1999), trabalharam com resíduo de granito das indústrias de rochas ornamentais de Campina Grande-PB com objetivo de verificar seu potencial para utilização em blocos de concreto vazados sem função estrutural. Para isso foram confeccionados corpos de prova com traços 1:6 (cimento/rejeito) e 1:6 (cimento/areia) em volume para comparação dos resultados. Os resultados mostraram-se satisfatórios.

NEVES, et al. (1999, 2000 e 2001), pesquisaram a utilização dos resíduos provenientes da serragem de granitos de duas indústrias de Campina Grande-PB para confecção de tijolos cerâmicos. Os ensaios físico-mecânicos utilizados para caracterização tecnológica dos produtos cerâmicos foram realizados segundo as normas da ABNT. Os resultados indicaram que os resíduos estudados podem ser utilizados como matérias-primas, em composições cerâmicas, para fabricação de tijolos maciços destinados à alvenaria.

NEVES, MIRANDA & LIRA (2001), evidenciaram a potencialidade dos resíduos de caulim e granito como matérias-primas cerâmicas. Foram realizados ensaios de fusibilidades com e sem ferro. A desferrização dos resíduos de granitos foram realizadas através de separação magnéticas e bromofórmio.

NEVES, SANTOS & FERREIRA (2001), estudaram o fenômeno da expansão por umidade (EPU) de massas cerâmicas incorporadas com resíduos da serragem de granito, indicando que adições de resíduo não contribuem para seu aumento.

2.7 - Granitos como Matérias-Primas Cerâmicas

2.7.1 -Mineralogia dos Granitos

Geologicamente, os granitos podem ser definidos como sendo uma rocha ígnea intrusiva cristalina de textura granular, quimicamente ácida (com mais de 65% de SiO_2), rica em sílica e alumínio. Os componentes mineralógicos essenciais do granito são: o quartzo, o ortoclássio e o microclínio (feldspato potássico), a albita-oligoclássica e a biotita (mica). Como componentes acessórios estão presentes a pirita, a apatita, o zircão, o epidoto e a turmalina. Os minerais acidentais são a moscovita (mica), os anfibólios, os piroxênios e as granadas. Como outras rochas ácidas, o granito tem cor clara (branca, cinza, rosada, amarelada, esverdeada, vermelha). Sua tonalidade depende do feldspato potássico presente. Normalmente é branca, mas também pode ser rosada ou vermelha se contiver hematita (óxidos de ferro) (ANONIMO, 1995).

A Tabela 2.7 indica a composição química de granitos, feldspatos e pegmatitos nacionais.

TABELA 2.7 - Composições químicas de rochas graníticas, feldspatos e pegmatitos nacionais (SOUZA SANTOS, 1992).

Amostras	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Fe_2O_3 (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)
Granito de Jundiá-SP	72,02	16,57	0,90	ND	0,87	2,97	5,72
Granito de Caéiras-SP	77,60	13,75	ND	ND	1,17	2,97	3,92
Pegmatito de Perús-SP	72,02	16,57	0,90	ND	0,83	2,97	5,72
Granito Serra de Caparão, MG	64,60	18,10	0,30	0,20	2,50	10,60	2,30
Granito de Urussanga-SC	64,10	20,30	0,40	0,40	0,10	3,20	11,20
Feldspato(Niterói-RJ)	66,30	19,20	ND	0,20	0,20	3,0	10,80
Feldspato(Picuí-PB)	63,80	21,80	ND	ND	0,30	2,33	11,45

ND – Não determinada

Os pegmatitos podem ser classificados em homogêneos e heterogêneos. Pegmatitos homogêneos são aqueles que contêm textura uniforme, sendo compostos basicamente de quartzo, feldspato e mica moscovita. Pegmatitos heterogêneos são aqueles formados por zoneamentos embora os minerais constituintes sejam os mesmos. Os cristais de feldspato e quartzo podem ser bastante desenvolvidos. São de interesse econômico pela presença de minerais acessórios tais como columbita-tantalita, amblygonita e berilo e podem ocorrer em grandes estruturas cristalográficas (BRANCO et al, 1986).

Mineralogicamente os corpos pegmatíticos possuem, como constituintes principais, quartzo leitoso, raramente hialino por vezes ferruginoso, feldspato com

crystalos de cor amarelada e rosada, e mica moscovita; como constituintes acessórios encontra-se berilo e molibdenite. Em geral, os filões de pegmatitos ocorrem em rochas básicas que cortam os maciços graníticos (TEIXEIRA et al., 1972).

No Brasil, as jazidas mais conhecidas pela exploração de feldspato e pegmatitos situam-se nas vizinhanças da capital de São Paulo, no sul de Minas, no Rio de Janeiro (Niterói) e em alguns estados do nordeste como Paraíba, Rio Grande do Norte e Pernambuco (SOUZA SANTOS, 1992).

2.7.2 -Utilização em Massas Cerâmicas

Na cerâmica tradicional, os granitos e os pegmatitos podem ser utilizados como matérias-primas cerâmicas e quando finamente moídos, entram nas composições das massas como elemento não plástico e fundente. Esses materiais são responsáveis pela melhoria nas propriedades físico-mecânicas do corpo a verde e sinterizado, tais como: porosidade aparente, retração de queima absorção de água e tensão de ruptura à flexão.

Segundo ANGELERE & MCLAREN (1979), os granitos e os pegmatitos utilizados como matérias-primas nas indústrias cerâmicas apresentam composição mineralógica constituída de teores variáveis de feldspatos sódicos e potássicos, de quartzo e de fases ou acessórios máficos, como micas, cloritas e turmalinas. Estes acessórios conferem aos corpos cerâmicos após sinterização a 1250°C cor acinzentada. A indústria paulista, em particular a de grês sanitário, é abastecida principalmente com pegmatitos de Perus (interior de São Paulo) ou com feldspato (origem de Minas Gerais), que entram na composição da massa entre 25% a 45%. Os três tipos mais importantes de feldspato são o ortoclásio, anortita e a albita; os de potássio representados pelo ortoclásio, os de sódio representados principalmente pela albita e os de cálcio, cujo principal representante é a anortita (SOUZA SANTOS, 1992).

FABBRI & FIORI (1993), pesquisaram o uso de granitos como matéria-prima cerâmica, para confecção de azulejos e louça de pó de pedra. Após serem determinadas as propriedades químicas, mineralógicas e tecnológicas concluíram

que podem ser utilizados na produção de azulejos e louça de pó de pedra, com custo inferior e características tecnológicas semelhantes aos produtos convencionais.

VERDUCK & BALMASEADA (1996), estudaram o uso dos granitos espanhóis como matéria-prima feldspática, para aplicação na indústria cerâmica. Os resultados indicam que as amostras estudadas apresentaram elevados teores de álcalis, constituindo importante fonte de matéria-prima para as indústrias de vidro, cerâmica e de abrasivo.

DINIS et al. (1999) verificaram o potencial de utilização dos pegmatitos da região de Aguiar da Beira em Portugal para uso como matéria-prima cerâmica. Os ensaios de caracterização englobaram estudos mineralógicos por difração de raios-X e químicos por fluorescência de raios-x e ensaios físicos como os testes de fusibilidade em várias temperaturas. Os resultados de caracterização permitiram sugerir sobre o seu uso como matéria-prima cerâmica.

A norma Russa GOST 7030-54 especifica a composição química dos feldspatos e pegmatitos para serem utilizados em cerâmicas finas (Tabela 2.8).

TABELA 2.8 – Valores especificados para composição de feldspatos e pegmatitos que são utilizados em cerâmicas finas (VERDUCK & BALMASEADA, 1996).

Características da Composição	Feldspatos		Pegmatitos		
	Primeira Qualidade	Segunda Qualidade	Primeira Qualidade	Segunda Qualidade	Terceira Qualidade
Fe ₂ O ₃ (%máxima)	0,2	0,3	0,2	0,3	0,5
K ₂ O+Na ₂ O (% mínima)	12	11	8	8	8
CaO (%máxima)	1	1	2	2	2
Quartzo (%máxima)	8	10	30	30	30
K ₂ O/Na ₂ O (%mínima)	2	2	2	2	2

MOTTA et al. (1999), desenvolveram um estudo com objetivo de verificar o potencial de utilização das rochas granitóides milonitizadas provenientes do Município de Piedade do Estado de São Paulo para uso como matéria-prima fundente na indústria cerâmica. Concluíram que pelo fato dessas rochas

miloníticas estudadas apresentarem teores de álcalis (K_2O e Na_2O) variando entre 6,5% a 9,5%, de Fe_2O_3 inferior a 1% e minerais máficos igual 5%, resultou em cores claras após a sinterização dos produtos cerâmicos.

2.8 - Normalização e Classificação de Produtos Cerâmicos

Os produtos cerâmicos tais como blocos, telhas, revestimentos e grés sanitário são classificados em função das características do processo de fabricação e das propriedades do produto acabado.

Segundo SOUZA SANTOS (1992) e SALGE & BARZAGHI (1982) as massas cerâmicas moldadas pelo processo manual, prensagem e extrusão para fabricação de blocos e telhas cerâmicas são classificadas de acordo com as cores no estado cru e após queima e com as propriedades físico-mecânicas.

A Tabela 2.9 mostra os valores limites preconizados por SOUZA SANTOS (1992) e SALGE & BARZAGHI (1982), para que uma massa cerâmica possa se utilizada para fabricação de blocos e telhas.

TABELA 2.9 - Valores limites para tensão de ruptura e absorção de água (SOUZA SANTOS, 1992).

Massa Cerâmica (manual, Extrudada e Prensada)	Blocos de Alvenaria (MPa)	Blocos Furados (MPa)	Telha (MPa)
Tensão de Ruptura da Massa Seca a 110° C (Mínima)	1,5	2,5	3,0
Tensão de Ruptura da Massa Após Queima (Mínima)	2,0	5,5	6,5
Absorção de Água da Massa Após Queima (Máxima)	Não Especificado	25,0	20
Cor Após Queima	Vermelha	Vermelha	Vermelha

As normas da ABNT NBR 7170 (1983) e NBR 7171 (1992), classificam os blocos cerâmicos para alvenaria de acordo com a resistência à compressão simples.

A Tabela 2.10 mostra uma classificação de blocos de acordo com a norma NBR 7170.

TABELA 2.10 – Resistência mínima à compressão em relação à categoria (NBR 7170).

Categoria	Resistência à Compressão Simples (MPa)
A	1,5
B	2,5
C	4,0

A Tabela 2.11 mostra uma classificação de blocos de vedação ou estruturais, em relação à área bruta de acordo com a NBR 7171 (1992).

TABELA 2.11 – Resistência à compressão de blocos de alvenaria por classe (NBR 7171, 1992)

Classe	Resistência à Compressão na Área Bruta (MPa)
10	1,0
15	1,5
25	2,5
45	4,5
60	6,0
70	7,0
100	10,0

As normas técnicas para revestimento, assim como para outros segmentos de tecnologia de todos os países do mundo, estão sendo unificadas (QUINTERO,1996). As normas ISO 13006(1995) e NBR 13818 (1997) classificam os revestimentos, segundo o método de conformação, em classes de acordo com os valores para absorção de água e tensão de ruptura à flexão.

As Tabelas 2.12 e 2.13, apresentam uma classificação para revestimentos cerâmicos baseada na absorção de água e tensão de ruptura à flexão, segundo as Normas ISO 13006(1995) e a ABNT NBR 13818(1997).

A dilatação de um corpo cerâmico pode ser consequência direta: de um efeito térmico, da ação da umidade (EPU) ou de ambas as causas.

A dilatação térmica é uma característica de suma importância para as placas cerâmicas quando empregadas em lareiras, estufas e churrasqueiras, como também no acordo massa esmalte. Em geral os valores de dilatação dos

revestimentos são baixos quando comparados a outros materiais de freqüente uso em construções.

TABELA 2.12 - Classificação segundo norma NBR 13818 (1997).

Absorção de Água(%)	Processo de Conformação		
	A Extrudado	B Prensado	C Outros
Grupo Ia $a \leq 3$	AI	Bla	CI
Grupo IIa $3 < a \leq 6$	Alla	BIIa	CIIa
Grupo IIb $6 < a \leq 10$	Allb	BIIb	CIIb
Grupo III $a \geq 10$	AIII	BIII	CIII

TABELA 2.13 - Classificação segundo norma ISO 13006(1995).

Produto	ISO 13006	Absorção de Água (%)	Módulo de Resistência à Flexão (N/mm ²)
Porcelanato	Bla	0-0,5	35-50
Grés	BIIb	0,5-3	30-45
Semi-grés	BIIa	3-6	32-35
Semi-poroso	BIIb	6-10	18-30
Poroso	BIII	10-20	15-20

Na Tabela 2.14 são apresentados valores máximos permitidos de ambos os parâmetros, dilatação e expansão por umidade, para cada grupo de absorção segundo norma EN 103 e EN 155 (1994) e do Centro Cerâmico Brasileiro (CCB).

TABELA 2.14 - Valores de dilatação e expansão por umidade dos vários grupos de absorção de água (EN 103 e EN 155, 1994).

Grupos	Ala	Alla	Allb	AIII	Bla	BIIa	BIIb	BIII
Dilatação térmica linear ($\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)	13	12	10	10	9	9	9	6
EPU (mm/m)	NE	NE	0,6	0,6	NE	NE	0,6	NE

NE-Não Especificado

Segundo SOUZA SANTOS (1992) as barbotinas cerâmicas utilizadas na fabricação de grés sanitário são moldadas por colagem numa concentração de 72,0% de sólidos totais e com massa específica de aproximadamente de 1,80 g/cm³. Geralmente as especificações são baseadas nas propriedades físico-mecânicas após secagem e sinterização.

Na Tabela 2.15 são apresentados valores de tensão de ruptura à flexão e absorção de água de massa padrão industrial de grés sanitário após queima da 1250° C, determinada por SOUZA SANTOS (1992).

TABELA 2.15 – Tensão de ruptura à flexão e absorção de água de barbotina de várias indústrias (SOUZA SANTOS, 1992).

Massas	Modulo de Ruptura à Flexão (MPa)	Absorção de Água (%)
A	574	1,52
B	601	1,03
C	685	0,38
D	614	1,14
E	586	0,26
F	718	0,11

2.9 - Conclusão

Após as análises contidas na revisão bibliográfica podemos concluir que as pesquisas sobre reciclagem e reutilização de resíduos para fabricação de materiais têm-se destacado nos últimos anos e hoje a reciclagem é encarada como uma ferramenta de fundamental importância para o controle e minimização dos problemas ambientais causados pela geração de resíduos em diferentes atividades industriais, e na viabilização do seu uso para fabricação de materiais com substituição das matérias-primas tradicionais e freqüentemente com grande redução de custos. Entretanto deve ser salientado que o montante de resíduos gerados no país pelas empresas beneficiadoras de rochas ornamentais é muito elevado e justifica todo esforço no sentido do reaproveitamento deste material para o uso como matéria-prima cerâmica. A criação de incentivos aos empresários através de governos municipais, estaduais e federal é de grande

importância para que se inicie um processo amplo de reciclagem. Esse processo quando bem planejado e estruturado, pode contribuir significativamente para a redução dos custos ambientais e sociais causados pelo depósito de forma indiscriminado de resíduo no meio ambiente.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentado o detalhamento relativo aos materiais e métodos utilizados no decorrer desta pesquisa. Os materiais alternativos são amostras de resíduos provenientes da serragem de granito das indústrias da Paraíba, Ceará e Pernambuco e as matérias-primas convencionais são amostras de argilas, feldspato, quartzo e calcita oriundas dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Os métodos de ensaios constantes de normas da ABNT, ASTM, ISO, EN, etc. serão apenas citados, enquanto que os métodos não constantes na normalização serão descritos detalhadamente. Em qualquer dos casos, modificações eventuais nos métodos de ensaios serão detalhados.

3.1- MATERIAIS

3.1.1 - Matérias-Primas Alternativas

Foram selecionadas e coletadas cinco amostras de resíduos oriundas dos estados da Paraíba, Ceará e Pernambuco. A identificação das amostras foi feita em ordem numérica, seguinte à abreviação R do resíduo.

Resíduo (R - 01)

O resíduo R-01 da serragem de granitos é proveniente da Empresa POLIGRAN, Polimento de granitos do Brasil S/A, localizada na Alça Sudoeste km 14, quadra 18, Distrito Industrial do Ligeiro, Campina Grande – PB.

Este resíduo também denominado de lama abrasiva originária dos teares, geralmente, é constituído de água, cal moída, granalha e pó de granito. Apresenta-se na forma de polpa e após secagem a 110° C é de fácil desagregação manual e de cor cinza clara. Os granitos ornamentais da Industria POLIGRAN são provenientes dos Municípios de Sumé, Picuí, Serra Branca e Pocinho no estado da Paraíba e são conhecidos comercialmente como granito Sucuru, granito Picuí e granito São Marcos. Apresentam-se sob a forma de grandes maciços rochosos e matacões. A estrutura dessas rochas apresenta-se com granulação grosseira e média com coloração cinza escura, branco e bege. Atualmente os granitos ornamentais estão sendo comercializados no Brasil e exterior, principalmente nos países europeus.

Resíduo (R - 02)

O resíduo R-02 da serragem de granitos é proveniente da Empresa Granitos CAXAMBÚ – Localizada na Fazenda Caxambu Município de Cabaceiras- PB.

Este resíduo originário dos teares apresenta-se na forma de pó de cor branca. Os granitos ornamentais da Industria CAXAMBÚ são provenientes do Município de Cabaceiras no Estado da Paraíba e conhecidos comercialmente como granito Cinza Caxambú. Apresenta-se com granulação grosseira e coloração preta e branca. Atualmente está sendo comercializado somente no Brasil.

Resíduo (R -03)

O resíduo R-03 da serragem de granitos é proveniente da Empresa FUJI S.A. Mármore e Granitos, Alça Sudoeste, S/N, Distrito Industrial, Ligeiro, Campina Grande-PB.

Este resíduo é originário dos teares e geralmente é constituído de água, cal moída, granalha e pó de granito. Apresenta-se na forma de aglomerados e após

secagem a 110° C é de fácil desaglomeração manual e de cor cinza escura. Os granitos ornamentais da Industria FUJI são provenientes dos Municípios de Taperoá e Baraúnas no Estado da Paraíba e são conhecidos comercialmente como granito Preto Taperoá e granito Bege Itapocin. Apresentam-se com granulação grosseira e média de coloração branca, preta e cinza. Atualmente estão sendo comercializados somente no Brasil.

Resíduo (R - 04)

O resíduo (R-04) da serragem de granitos é proveniente da Empresa GRANEX S.A. localizada no distrito industrial da Cidade de Cabo - PE.

Este resíduo também denominado de lama abrasiva originária dos teares, geralmente é composto por água, cal moída, gralha e pó de granito. Ele apresenta-se na forma de aglomerados e após secagem a 110° C é de fácil desaglomeração manual e de cor cinza escura. Os granitos ornamentais da Industria GRANEX são provenientes dos Municípios de Belo Jardim no Estado de Pernambuco são conhecidos comercialmente como granito Marron Imperial. Apresentam-se na forma de grandes matacões de granulação grosseira e média de coloração cinza escura, branco e bege. Atualmente está sendo comercializado somente no Brasil.

Resíduo (R - 05)

O resíduo R-05 da serragem de granitos é proveniente da Empresa GRANDONI Indústria de Granitos LTDA, situada à Av. Washington Soares, 4444, Águas Frias, Fortaleza-CE.

Este resíduo, também denominado de lama abrasiva originária do teares, e geralmente composto por água, cal moída, gralha e pó de granito, apresenta-se na forma de aglomerados e após secagem a 110° C é de fácil desagregação manual e de cor cinza clara. Os granitos ornamentais da Industria GRANDONI são provenientes dos Municípios de Alcântaras, Forquilha e Irauçuba no Estado

do Ceará é são conhecidos comercialmente como granito Vermelho Alcântara, granito Amarelo Alcântara e granito Ouro Palha. Apresentam-se na forma de grandes maciços rochosos e matacões com granulação grosseira e média. Atualmente está sendo comercializados apenas no Brasil.

Coleta das Amostras

As amostras de resíduos foram coletadas na forma de polpa (pó) e posteriormente secas em estufa à 110° C e colocadas em sacos plásticos, identificadas através de etiquetas e devidamente lacradas.

3.1.2 - Matérias-Primas Convencionais

Foram selecionadas e coletadas amostras de argilas, quartzo, feldspato e calcita, provenientes dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. As amostras foram identificadas conforme descrito abaixo.

Argila CINCERA

A argila CINCERA estudada nesta pesquisa é proveniente do Município Santa Rita - PB. A amostra foi fornecida pela Companhia Industrial Cerâmica-CINCERA, localizada no Distrito Industrial de Santa Rita - PB.

Esta argila de origem quaternária apresenta-se na forma de agregados muito duros e densos, de difícil desagregação manual e de cor marron clara. Atualmente está sendo usada na fabricação de blocos, lajotas e telhas.

Argila "Ball clay"

A argila "ball clay" estudada nesta pesquisa, é proveniente do Município de Alhandra, Paraíba. A amostra foi fornecida pela Indústria ARMIL MINÉRIOS LTDA, localizada no Distrito Industrial de Campina Grande-PB.

Geologicamente esta argila pertence à Formação Barreiras e apresenta-se na forma de agregados muito duros e densos de difícil desaglomeração manual e de cor creme- clara. Atualmente está sendo usada na Indústria Celite do Nordeste, para fabricação de grés sanitário.

Caulim

O caulim estudado nesta pesquisa é proveniente do Município de Juazeirinho-PB. A mostra foi fornecida pela CAULISA Indústria S/A, localizada no Município de Juazeirinho, Paraíba.

Geologicamente pertence à Província Pegmatítica da Borborema. Este caulim é denominado tipo veio pela forma de ocorrência, e de elevada pureza. Apresenta-se na forma de aglomerados pouco compactos, de fácil desagregação manual não sendo visíveis minerais acessórios.

Quartzo

O quartzo estudado nesta pesquisa é proveniente da serra do Morro do Careca no Distrito de Carnaúba dos Dantas, Rio Grande do Norte. A amostra foi fornecida pela Indústria ARMIL MINÉRIOS LTDA, localizada na Cidade de Parelhas, Rio Grande do Norte.

Geologicamente, o quartzo estudado nesta pesquisa é originário de pegmatito heterogêneo, formado por zoneamentos de minerais bastante desenvolvidos. São de interesse econômico pela presença de minerais acessórios tais como columbita-tantalita, amblygonita e berilo. Atualmente está sendo usado em indústrias cerâmicas para massas e vidrados.

Feldspato

O feldspato estudado nesta pesquisa é proveniente da Associação de Garimpeiros do Município de Parelhas, Rio Grande do Norte. A amostra foi

fornecida pela Indústria ARMIL MINÉRIOS LTDA, localizada na Cidade de Parelhas, Rio Grande do Norte.

Geologicamente o feldspato estudado nesta pesquisa é originário de pegmatito heterogêneo, formado por zoneamentos de minerais bastante desenvolvidos. Há também interesse econômico pela presença de minerais acessórios tais como columbita-tantalita, amblygonita e berilo. Atualmente está sendo usado nas indústrias cerâmicas para massas e vidrados.

Carbonato de Cálcio

A calcita estudada nesta pesquisa é proveniente do Município de Boa Vista - PB. A amostra foi fornecida pela Indústria ARMIL MINÉRIOS LTDA, localizada no Distrito industrial da Cidade de Campina Grande-PB.

3.2 - MÉTODOS

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa consiste nas etapas descritas a seguir conforme atividades desenvolvidas e ensaios realizados.

3.2.1 - Caracterização

A caracterização física das amostras estudadas nesta pesquisa incluiu: massa específica real, análise granulométrica por peneiramento e sedimentação pelo método do densímetro e sedimentação através de absorção de luz óptica, área específica pelo método do BET e limites de Atterberg. A caracterização mineralógica inclui: análise química; análise térmica diferencial (ATD), análise termogravimétrica (ATG), difração de raios-X (DRX); capacidade de troca de cátions (CTC), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia eletrônica de transmissão (MET). A caracterização ambiental incluiu os ensaios de solubilização e lixiviação de acordo com as normas da ABNT. A Figura 3.1

mostra o fluxograma com as etapas dos ensaios de caracterização das matérias-primas.

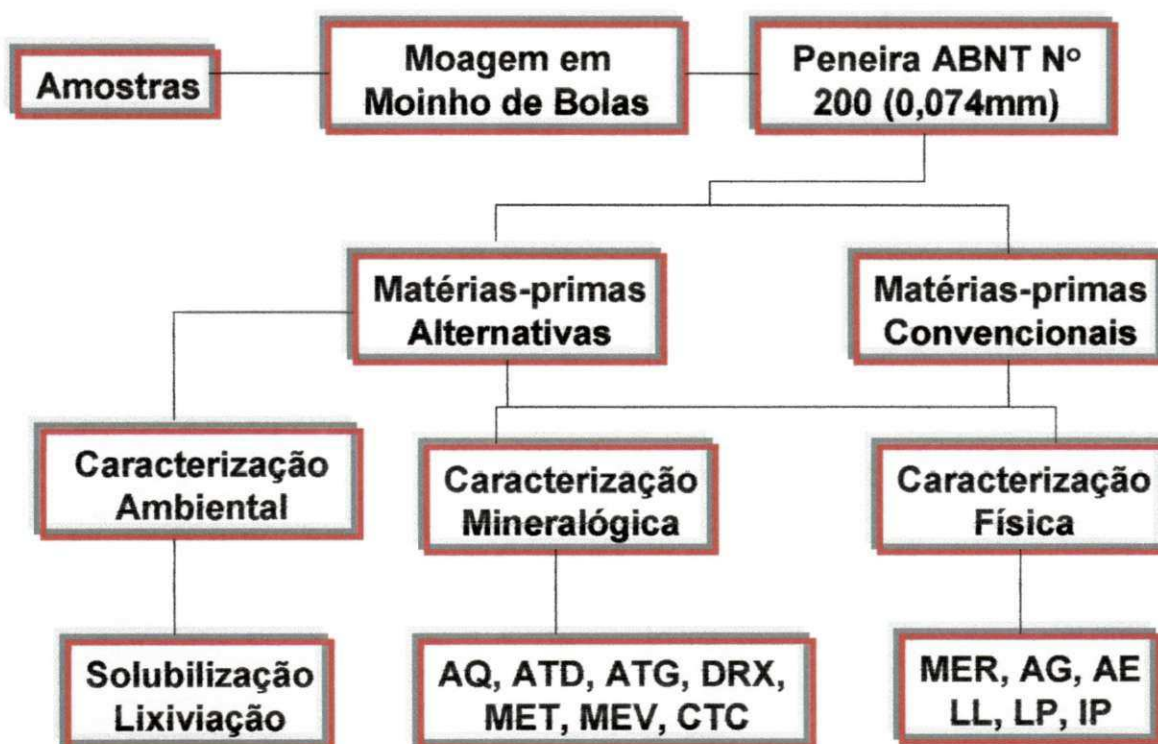


FIGURA 3.1 – Fluxograma com as etapas dos ensaios de caracterização.

3.2.1.1 - Caracterização Física

3.2.1.1.1 - Massa Específica Real (MER)

As amostras alternativas de resíduos e as matérias-primas convencionais foram desagregadas em almofariz de porcelana e em seguida peneiradas por via seca em peneira ABNT nº 200(0,074mm). Posteriormente foram colocadas em estufa a 110° C até massa constante e esfriadas em dessecador até a realização dos ensaios. A determinação da massa específica real das amostras foi realizada segundo o método do picnômetro de Hélio. O equipamento utilizado para

realização deste ensaio foi um Helium Pycnometer, marca micromeritics, modelo AccuPyc 1330.

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Cerâmica do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP.

Os resultados são a média de três determinações e são apresentados em g/cm^3 com aproximação de duas casas decimais.

3.2.1.1.2 - Distribuição de Tamanho de Partículas por Peneiramento e Sedimentação - AG

A distribuição de tamanho de partículas foi determinada por via úmida por peneiramento e por sedimentação com material passando 100% em peneira ABNT nº 200 (0,074mm).

Os ensaios foram realizados de acordo com a norma da ABNT NBR-7181(1984), no Laboratório de Cerâmica do DEMa/CCT/UFPB, Campina Grande-PB.

3.2.1.1.3 - Distribuição de Tamanho de Partículas pelo Método de Sedimentação Através de Absorção de Luz Óptica.

O sedígrafo utiliza o método de sedimentação de partículas em função de fase líquida associado com um processo de medida óptica através de transmissão de luz. Neste método, a equação de sedimentação de Stokes é combinada com a relação proporcional entre a absorção da luz e a concentração de partículas.

Para realização desta caracterização, os pós obtidos foram peneirados através de peneira ABNT nº 200 (0,074mm), dispersos em uma solução de 0,1ml (3 gotas) de defloculante (Drew) e 50ml de água destilada e desionizada com ultra-som durante 10 minutos e, em seguida, foram analisados por sedimentação (segundo a lei de Stokes) em um equipamento Sedigraph modelo 5100 (Micromeritics). As curvas de distribuição do tamanho de partículas (diâmetros

esféricos equivalentes) foram obtidas sob as mesmas condições para todos os pós.

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Cerâmica do Departamento de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP.

3.2.1.1.4 - Área Específica (BET) - AE

Para a determinação da área específica foi utilizado o método de adsorção de nitrogênio/hélio desenvolvido por Brunauer, Emmett e Teller (BET). A partir de isotermas de adsorção de gases sobre os pós ou materiais cerâmicos podem-se obter suas características. Elas compreendem o conjunto de informações que definem a morfologia do pó que são o tamanho de poros e a área de superfície específica (GERMAN, 1996). Todos os pós foram analisados em equipamento modelo ASAP-2370, da Micromerictis.

As análises foram realizadas no Laboratório de Cerâmica do Departamento de Engenharia Materiais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos-SP.

3.2.1.1.5 - Limites Atterberg

A plasticidade tem uma importância fundamental nas propriedades tecnológicas, pois define o ponto ótimo de trabalhabilidade da massa para conformação.

Os limites de Atterberg foram determinados no Laboratório de Cerâmica do DEMa/CCT/UFPB, segundo as normas da ABNT NBR-6454(1984) e NBR-7180(1984).

Os resultados são a média de três determinações com desvio relativo máximo de 5% e são apresentados em % com aproximação de duas casas decimais

3.2.1.2 - Caracterização Mineralógica

3.2.1.2.1 - Preparação das Amostras

As amostras foram secas em estufa a 110°C por 24 horas até massa constante, em seguida desagregadas em almofariz de porcelana e peneiradas por via seca em peneira ABNT N° 200 (abertura de 0,74mm), e posteriormente acondicionadas em sacos plásticos de polietileno etiquetados.

3.2.1.2.2 - Análise Química Convencional - AQ

A análise química fornece dados fundamentais de grande utilidade industrial e científica, apesar de não permitir uma avaliação completa da composição mineralógica e das propriedades físico-químicas e tecnológicas.

As determinações usuais são: umidade, perda ao fogo, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, FeO, MgO, Na₂O, K₂O, matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e cátions trocáveis (SOUZA SANTOS, 1992).

As amostras alternativas de resíduos e das matérias-primas convencionais foram submetidos à análise química, segundo técnicas clássicas e instrumentais e instrumentais-complexiométricas seguindo as normas do Laboratório de Análise Minerais do CCT/PRAI/UFPB (1987).

3.2.1.2.3 - Análise química (EDS)

Para realização desse ensaio de caracterização as amostras convencionais e alternativas foram secas a 110°C e beneficiadas através de peneiramento ABNT n° 200 (0,074mm) e posteriormente depositadas sobre um porta amostras de alumina. Em seguida, as amostras foram recobertas com uma película de ouro, que atuou como meio condutor.

A análise química foi realizada em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo DSM 940A (Carl Zeiss), acoplado com uma sonda de

microanálise semi-quantitativa (EDS). Os elementos determinados foram Si, Al, Fe, Ti, Ca, Mg, Na e K.

Os ensaios foram realizados no Laboratório do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Rio de Janeiro, RJ.

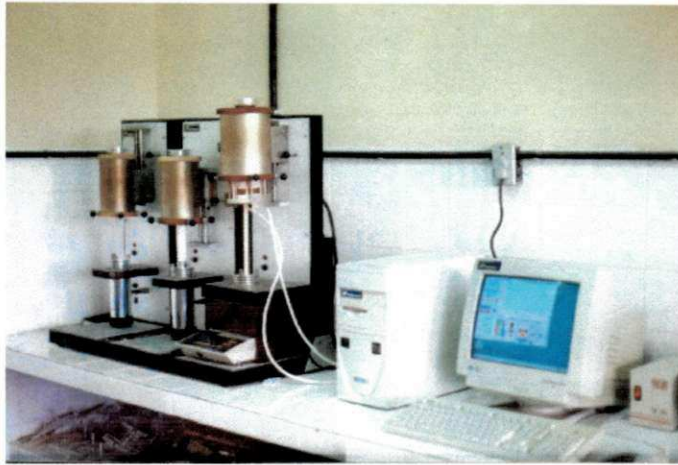


FIGURA 3.2 - Aparelho Análise Térmica Modelo RB-3000 da BP Engenharia.

3.2.1.2.4 - Análises Térmicas

As análises termodiferencial (ATD) e termogravimétrica (ATG) são úteis em processos de produção cerâmica para indicar as faixas de temperaturas em que ocorrem transformações endo e exotérmicas e as temperaturas onde ocorrem as perdas de massas. As curvas térmicas foram obtidas através de um sistema de Análises Térmicas Modelo RB-3000 da BP Engenharia (Fig. 3.2), com razão de aquecimento 12,0°C/min. Engenharia (Fig. 3.2), com razão de aquecimento 12,0°C/min. A temperatura máxima para ATD e ATG foi de 1000°C e aquecimento 12,0°C/min. A temperatura máxima para ATD e ATG foi de 1000°C e o padrão utilizado na ATD foi óxido de alumínio (Al_2O_3) calcinado.

Os ensaios foram realizados no laboratório de cerâmica do DEMa/CCT/UFPB, segundo a metodologia proposta por SOUZA SANTOS (1992).

3.2.1.2.5 - Difração de Raios-X

Os pós obtidos por peneiramento em malha ABNT n° 200 (0,074mm) foram acondicionados em porta amostra de vidro para análise por difração de raios-X, em equipamento Siemens/Brucker-AXS D 5005, equipado com espelho de Goebel para feixe paralelo de raios-X, monocromador de grafite (quando necessário, ou seja, nas amostras com muito ferro) e detector de NaCl de estado sólido. A radiação utilizada foi Cu $k\alpha$ (40kV/40mA); a velocidade do goniômetro foi de 0,02° para 2 θ por passo com tempo de contagem de 1,0 segundo por passo. A interpretação foi efetuada por comparação com padrões contidos no PDF 02 (ICDD, 1996) em software Siemens Diffrac^{Plus}.

As análises de difração de raios-X foram realizadas no Laboratório do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Rio de Janeiro,RJ.

3.2.1.2.6 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Os pós obtidos através de peneiramento ABNT n° 200 (0,074mm) foram posteriormente depositados sobre um porta amostras de alumina. Em seguida, as amostras foram recobertas com uma película de ouro, que atuou com o meio condutor, e analisadas em um microscópio eletrônico de varredura, modelo DSM 940A (Carl Zeiss).

A microscopia eletrônica de varredura foi realizada no Laboratório do Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro,RJ.

Foram também realizadas análises de MEV/EDS com as amostras prensadas com êmbolo de aço inoxidável de forma a se obter uma pastilha (KBr) semelhante a utilizada para infravermelho, que em seguida foi recoberta com carbono. O equipamento utilizado foi um Leica S440 equipado com EDS ISIS L 300 e detetor de Si/Li OXFORD. As amostras foram analisada com imagem de elétrons retroespalhados (BSB) onde os níveis de cinza observados são proporcionais ao peso atômico médio dos elementos constituintes do material, com as fase mais leves representadas pelos tons mais escuros.

A microscopia eletrônica de varredura das amostras prensadas foram realizadas no Laboratório do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Rio de Janeiro, RJ.

3.2.1.2.7 - Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET)

Os pós obtidos por peneiramento em malha ABNT nº 200 (0,074mm) foram dispersos em água destilada contendo hidróxido de amônio (1,0 ml de hidróxido para 100 ml de água) e submetidos à ação de ultra-sons. A dispersão ligeiramente turva foi colocada através de aerossol sobre as telas-suporte usuais para MET. As preparações foram examinadas em aparelho MET Philips CM 200, operando a 200 kV.

As análises de microscopia eletrônica de transmissão foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP.

3.2.1.2.8 – Capacidade de Troca de Cátions (CTC)

Para determinação da CTC, as amostras foram beneficiadas em ABNT nº 200 (0,074mm), via úmida, com o objetivo de obter-se uma maior concentração da fração argila . Em seguida as amostras foram secas em estufa a 110° C até massa constante e submetidos ao ensaio de determinação CTC por adsorção de azul de metileno. A metodologia empregada para determinação da CTC pela adsorção do azul de metileno foi a recomendada por FERREIRA et al. (1972). Os resultados são apresentados em m²/g.

Os ensaios foram realizados no laboratório de cerâmica do DEMa/CCT/UFPB, Campina Grande, PB.

3.2.1.3 – Caracterização Ambiental

3.2.1.3.1 – Solubilização de Resíduos

O processo de solubilização consiste na operação de adicionar água deionizada ou destilada ao resíduo sólido, seguindo-se uma agitação e filtragem. Para realização deste ensaio as amostras de resíduos foram beneficiadas em peneira ABNT N° 200 (0,074mm) e posteriormente submetidas aos ensaios segundo norma da ABNT 10006 (1987). A análise química da solução foi realizada em um espectrofotômetro de absorção atômica marca GBC SCIENTIFIC EQUIPMENT PTY LTD.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Análises Termoquímicas e Materiais do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB.

3.2.1.3.2 – Lixiviação de Resíduos

O processo de lixiviação consiste em separar certas substâncias contidas nos resíduos industriais por meio de lavagem ou percolação. Para realização deste ensaio as amostras de resíduos foram beneficiadas em peneira ABNT N° 200 (0,074mm) e posteriormente submetidas aos ensaios segundo norma da ABNT 10005 (1987).

A análise química da solução foi realizada em um espectrofotômetro de absorção atômica marca GBC SCIENTIFIC EQUIPMENT PTY LTD.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Análises Termoquímicas e Materiais do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB.

3.2.2 - Ensaio Tecnológico

Os ensaios tecnológicos foram executados em escala de laboratório segundo a metodologia proposta por SOUZA SANTOS (1992), SALGE BAZARGHI (1982), ANGELERE (1973), FERREIRA (1973) e CALIL (1973) e em

escala piloto (industrial) segundo Norma da ABNT, ISO, EN e Centro Cerâmico do Brasil (CCB).

3.2.2.1 - Estudos dos Resíduos Visando sua Aplicação em Cerâmica Vermelha

As amostras alternativas e convencionais estudadas nesta pesquisa foram submetidas aos ensaios tecnológicos preliminares (cor e propriedades físico-mecânicas), ensaios tecnológicos completos em escala de laboratório e ensaios tecnológicos em escala piloto visando sua utilização em cerâmica vermelha, de acordo com a sistemática proposta por SOUZA SANTOS (1992) e Normas da ABNT. A seqüência dos ensaios é mostrada na Figura 3.3.

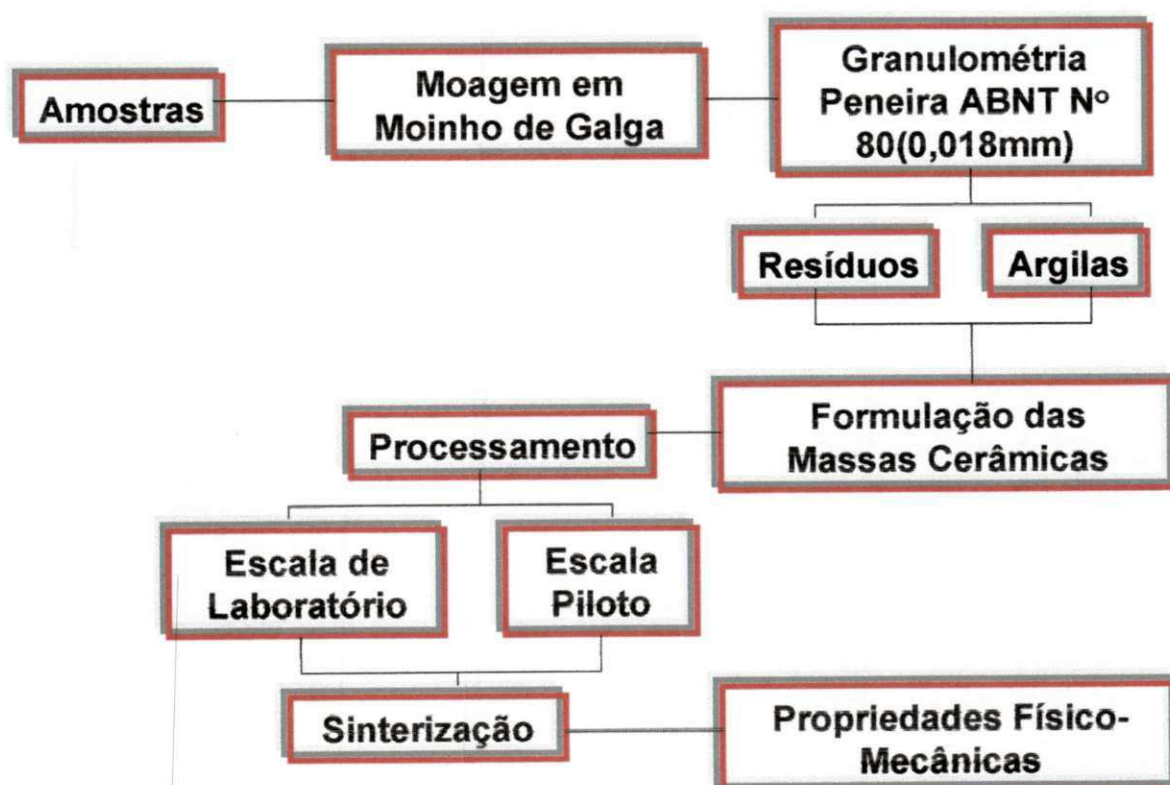


FIGURA 3.3 – Fluxograma das etapas dos ensaios das matérias-primas alternativas para aplicação em cerâmica vermelha.

3.2.2.1.1 - Preparação das Amostras

As amostras foram secas em estufa a 110°C por 24 horas, homogeneizadas e quarteadas e submetidas à cominuição por via seca em moinho de galgas, passando em peneira ABNT N° 80 (abertura de 0,18mm). Esta peneira corresponde a granulometria usual de prensagem industrial de massas cerâmicas vermelhas semi-secas (SOUZA SANTOS, 1992). Em seguida foram armazenadas em sacos plásticos de polietileno e etiquetados.

3.2.2.1.2 - Composições das Massas Cerâmicas

Para composição das massas cerâmicas, os resíduos foram incorporados individualmente e misturados (proporção de 20% para cada resíduo) a uma argila utilizada industrialmente em cerâmica vermelha (CINCERA) nas seguintes proporções: 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55% e 60%, em seguida umedecidas até um teor de aproximadamente 10% de água para conformação por prensagem nos ensaios preliminares e entre 22% à 25% para conformação por extrusão nos ensaios completos, deixando em repouso por período de 24 horas, com objetivo de melhorar sua plasticidade.

3.2.2.1.3 - Ensaios Preliminares

Os ensaios tecnológicos preliminares foram realizados seguindo-se a sistemática proposta por SOUZA SANTOS (1992). Os corpos-de-prova foram confeccionados na forma de lâminas prismáticas, com dimensões de 6,0 cm x 2,0 cm x 0,5 cm por prensagem a 20 MPa em prensa Losenhausen com capacidade de 40t e a uma velocidade constante de 0,25mm/min. Na etapa seguinte, todos os corpos de prova foram secos em estufa a 110°C por período de 24h e posteriormente sinterizados nas temperaturas de queima de 800°C, 900°C e 1000°C em forno de atmosfera oxidante, com velocidade constante de elevação de temperatura e a temperatura máxima foi mantida em patamar por duas horas,

completando um ciclo de queima com duração de 10 horas. O resfriamento foi realizado naturalmente durante a noite. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Cerâmica do DEMa/CCT/UFPB, Campina Grande, PB.

3.2.2.1.4 - Ensaio Completos

Os ensaios tecnológicos completos foram realizados segundo a sistemática proposta pela American Ceramic Society citada por SOUZA SANTOS (1992). Os corpos de prova foram confeccionados com dimensões de 20,0 cm x 2,0 cm x 1,0 cm, extrudados em uma maromba de laboratório Modelo 51 da Marca VERDÉS. Na etapa seguinte todos os corpos de prova foram secos em estufa a 110° C por um período de 24h e posteriormente sinterizados nas temperaturas de queima de 800°C, 900°C e 1000°C em forno de atmosfera oxidante, com velocidade constante de elevação de temperatura e a temperatura máxima foi mantido em patamar por duas horas máxima, completando um ciclo de queima de 10 horas. O resfriamento foi realizado naturalmente durante a noite. A Figura 3.4 mostra a extrusora de laboratório onde foram preparados os corpos de prova. Os ensaios completos foram realizados no Laboratório de Cerâmica do DEMa/CCT/UFPB, Campina Grande, PB.

3.2.2.1.5 - Ensaio em Escala Piloto

Os ensaios foram realizados de acordo com as normas da ABNT NBR 7170 (1983) e NBR 7171 (1992). Os blocos cerâmicos foram confeccionados manualmente com dimensões de 200 mm x 100 mm x 50 mm, e sinterizados em uma indústria de cerâmica vermelha (olaria São José) localizada no Município de Campina Grande-PB.

3.2.2.1.6 - Propriedades Cerâmicas

Após secagem a 110°C e queima a 800°C, 900°C e 1000°C, os corpos de provas foram submetidos aos seguintes ensaios cerâmicos: retração linear (RL), absorção de água (AA), massa específica aparente (MEA), porosidade aparente (PA) e cor de queima. Os resultados são as médias aritméticas de dez determinações com os respectivos desvios padrões e com aproximação de duas casas decimais. Em seguida, os valores foram comparados com os resultados preconizados por SOUZA SANTOS (1992), SALGE E BARZAGHI (1982) e normas da ABNT.

As propriedades cerâmicas foram determinadas no Laboratório de Cerâmica do DEMa/CCT/UFPB, Campina Grande-PB.



FIGURA 3.4. – Extrusora de Laboratório Modelo 051 da Marca VERDÉS.

3.2.2.1.7 - Propriedades Mecânicas

A tensão de ruptura à flexão (TRF) também conhecida como módulo de ruptura à flexão refere-se à resistência do material à ruptura por flexão simples pelo método dos três pontos.

Os ensaios de resistência à flexão foram realizados em máquina universal de ensaios Testometric Micro 350, modelo Goodbrand, operando a uma velocidade de 0,4mm/min (Figura 3.5), segundo o método proposto pela ASTM D-790/1986. Os resultados são as médias aritméticas de dez determinações com os respectivos desvios padrões e com aproximação de duas casas decimais.

As propriedades Mecânicas foram determinadas no Laboratório de Cerâmica do DEMa/CCT/UFPB, Campina Grande-PB.

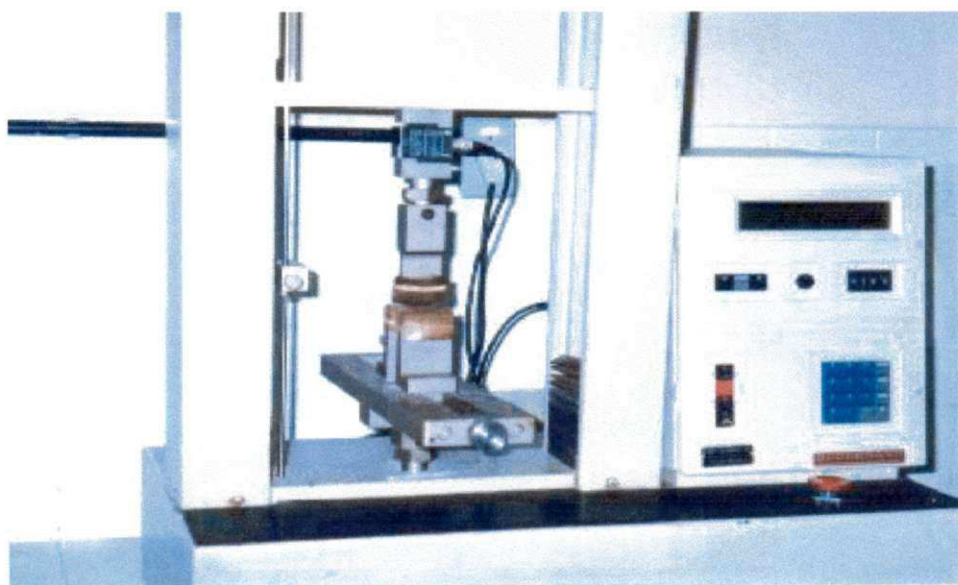


FIGURA 3.5 - Máquina universal de ensaios Testometric Micro 350.

3.2.2.2 - Estudos dos Resíduos Visando sua Aplicação como Matérias-Primas para Uso em Revestimentos Cerâmicos

As amostras alternativas e convencionais estudadas nesta pesquisa foram submetidas aos ensaios tecnológicos em escala de laboratório e em escala piloto (indústria), visando sua utilização em revestimentos cerâmicos, de acordo com a sistemática proposta por SOUZA SANTOS (1992) e normas da ABNT NBR13818(1997), ISO 13000, EN 13 e EN 15 e Centro Cerâmico do Brasil. A

Figura 3.6, mostra o fluxograma com as etapas dos ensaios realizados com resíduos para aplicação em revestimentos cerâmicos.

3.2.2.2.1 – Preparação das Amostras

As amostras alternativas e convencionais foram secas em estufa a 110°C por 24 horas, homogeneizadas e quarteadas. Elas foram submetidas ao processo de cominuição, compreendendo moagem em moinho de bolas e peneiramento subsequente em malha ABNT nº 100 (0,15mm) e em seguida colocadas em sacos plásticos etiquetados.

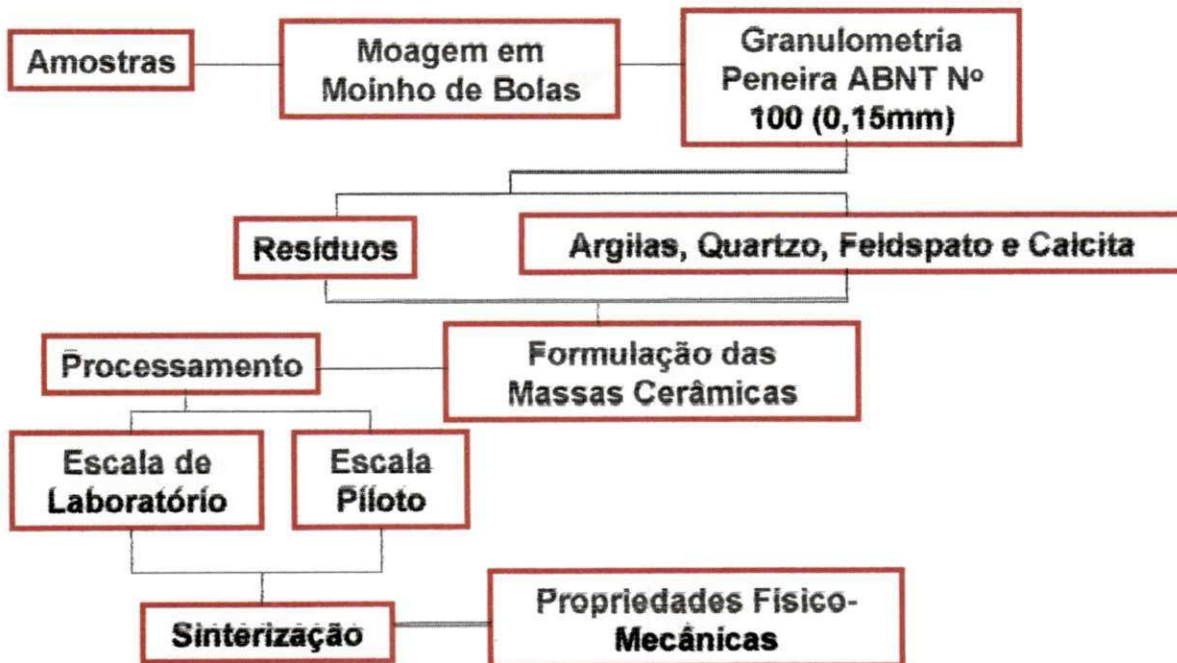


FIGURA 3.6 – Fluxograma com as etapas dos ensaios das matérias-primas alternativas para uso em revestimentos cerâmicos.

3.2.2.2.2 - Método de Formulação de Massas Cerâmicas

As massas foram formuladas através do REFORMIX 2.0 do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar),

(ZANOTO et al., 1994). O REFORMIX 2.0 trabalha com um sistema operacional DOS 3.2 ou superior, é indicado para formulação de massas para pisos, azulejos, porcelana de mesa, porcelana elétrica, grés sanitário e até mesmo da matriz argilosa de refratários tradicionais. Os parâmetros necessários para reformulação da maioria das massas são: composição química, composição mineralógica, distribuição de tamanho de partículas e capacidade de troca de cátions (ZANOTO et al. 1994).

3.2.2.2.3 - Preparação dos Corpos de Prova

A composição cerâmica foi umedecida até um teor de 7% de água e moldada por prensagem na forma de lâminas prismáticas (12,0 cm x 6,0 cm x 1,0 cm) a pressão de 20MPa, em uma prensa Losenhausen com capacidade de 40t a uma velocidade constante de 0,25mm/min. Após o processo de secagem a 110 °C em estufa foi realizada queima dos corpos de prova nas temperaturas de 1150°C, 1175°C e 1200°C, que são similares às temperaturas para produzir revestimentos cerâmicos em escala industrial. Essa queima foi realizada em fornos de atmosfera oxidante, com velocidade constante de elevação de temperatura de 9° C/min com patamar de queima na temperatura máxima de 30 min. O resfriamento ocorreu naturalmente durante a noite até temperatura ambiente.

Os ensaios preliminares foram realizados no Laboratório de Cerâmica do DEMa/CCT/UFPB, Campina Grande-PB.

3.2.2.2.4 - Ensaio em Escala Piloto

Os ensaios tecnológicos em escala piloto foram realizados na empresa de revestimentos CORDEIRO S/A, localizada no distrito industrial de João Pessoa-PB. Os corpos de prova foram conformados nas mesmas condições dos ensaios completos, com exceção da sinterização que foi realizada em forno túnel com

ciclo de queima de 30 min na temperatura máxima industrial que é da ordem de 1150° C.

3.2.2.2.5 - Propriedades Cerâmicas

Após tratamento térmico nas temperaturas acima citadas, os corpos de prova foram submetidos aos seguintes ensaios: absorção de água (AA); massa específica aparente (MEA); porosidade aparente (PA); retração linear (RT) e tensão de ruptura à flexão (TRF). Os resultados são as médias aritméticas de dez determinações com os respectivos desvios padrões e com aproximação de duas casas decimais. Em seguida, foram comparados com valores especificados pela ABNT NBR-13818(1999).

As propriedades cerâmicas foram determinadas no Laboratório de Cerâmica do DEMa/CCT/UFPB, Campina Grande, PB.

3.2.2.2.6 - Dilatação Térmica

Para realização dos ensaios de dilatação térmica, os corpos de prova foram conformados em forma de lâminas prismáticas, com dimensões de 5,0 cm x 0,5 cm x 0,5 cm, prensados a 20 MPa em prensa Losenheim com capacidade de 40t. Na etapa seguinte, todos os corpos-de-prova foram secos em estufa a 110° C por um período de 24h, e posteriormente sinterizados na temperatura de queima 1175 °C. As curvas dilatométricas foram obtidas através de um sistema de Análise Térmica Modelo RB-3000 da BP Engenharia, com velocidade de aquecimento 12,5°C/min até a temperatura máxima de 500°C. A aferição do aparelho foi realizada através de um padrão de óxido de alumínio (Al₂O₃) na forma cilíndrica com 5cm de altura e 0,15cm de diâmetro. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Cerâmica do DEMa/CCT/UFPB.

3.2.2.2.7 - Expansão por Umidade

As expansões por umidade foram obtidas pelo método de fervura durante 24 horas consecutivas. Após isso, os corpos de prova foram retirados e deixados atingir o equilíbrio térmico, fazendo a leitura dos mesmos depois de 3h. Este ensaio foi realizado segundo norma ABNT NBR 13818 (1997).

Foram estabelecidos pontos marcadores como referencial para as medidas de comprimento, realizadas no extensômetro mecânico com sensibilidade de 0,001mm. Com objetivo de obterem-se resultados mais confiáveis, foram feitas as médias de 10 determinações com seus respectivos desvios padrões

3.2.2.3 - Estudos dos Resíduos Visando sua Aplicação como Matérias-primas para Confeção de Grés Sanitário

3.2.2.3.1 - Preparação de amostras

As amostras alternativas e convencionais foram secas em estufa a 110°C por 24 horas, homogeneizadas e quarteadas. Elas foram submetidas ao processo de cominuição, compreendendo moagem em moinho de bolas e peneiramento subsequente em malha ABNT nº 200 (0,074mm) e em seguida colocadas em sacos plásticos . A seqüência das operações para o ensaio das matérias-primas para uso na confecção de grés sanitário é mostrado na Figura 3.7.

3.2.2.3.2 - Desferrização por Separação Magnética

As amostras utilizadas para desferrização por separação magnética foram beneficiadas em peneira ABNT nº 200 (0,074mm), contendo entre 10g e 20g de resíduo previamente seco. O equipamento utilizado foi um separador magnético do tipo Eriez (Equimag) Tubo Davis Modelo EDT (Figura 3.8) com intensidade de 4000 Gs no centro das bobinas. Este equipamento efetua a separação magnética das amostras dependendo de suas características magnéticas, podendo ser usado para magnetita, pirrotita etc. Trata-se de um importante auxiliar na

determinação da malha de separação, índice de seletividade, e teor de recuperação de compostos magnéticos.

Os ensaios foram realizados no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Rio de Janeiro, RJ.

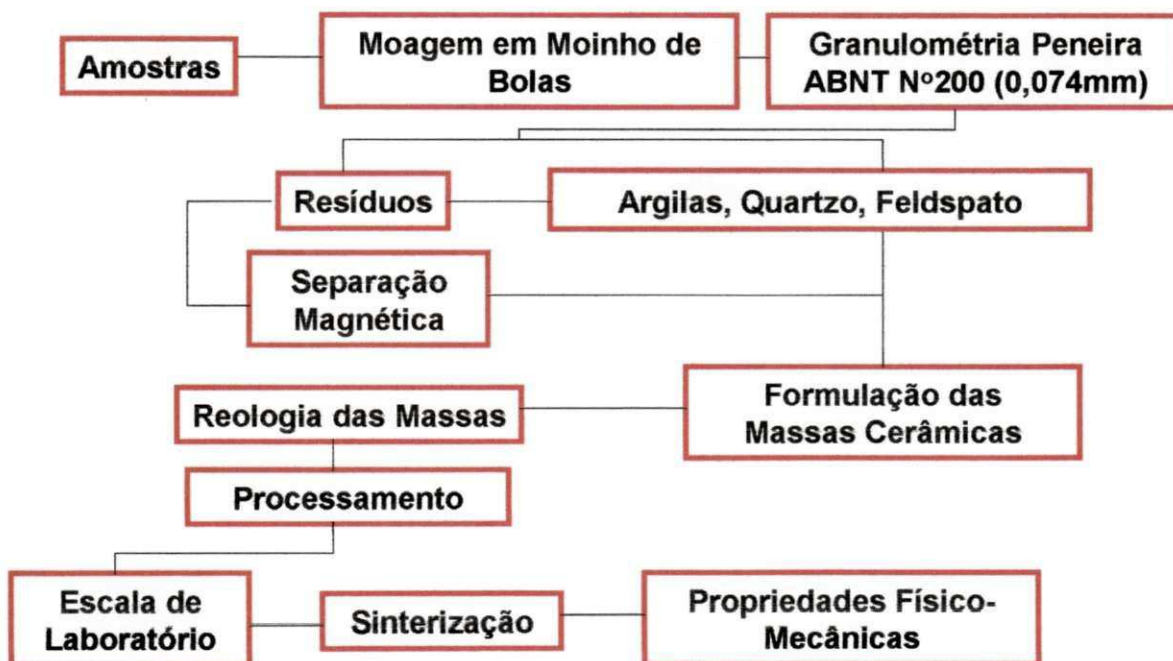


FIGURA 3.7 – Fluxograma das etapas dos ensaios das matérias-primas alternativas e convencionais para uso em grés sanitário.

3.2.2.3.3 - Ensaio de Fusibilidade

O ensaio de fusibilidade foi realizado com as amostras alternativas de resíduo, no estado natural e após desferrização, pelo método do cone com temperatura de sinterização de 1250° C, durante um período de duas horas.

O ensaio do cone consiste em formar com um molde apropriado um corpo-de-prova de forma cônica, com as dimensões de 35,7 mm de altura e 35,0 mm de base, com material passando em peneira ABNT n° 200 (0,074 mm), que sofrerá alterações pela sinterização tais como: deformação (inchamento, achatamento), textura, cor, pigmentação, formação de bolhas, etc. Tradicionalmente fazem-se

observações para verificar se a extremidade do cone é pontiaguda ou achatada e se a textura é brilhante ou mate. Este ensaio tem uma importância fundamental na composição das massas cerâmicas, pois é possível determinar a fluidez ou as características do estado vítreo de um fundente.

Os ensaios de fusibilidade foram realizados no Laboratório de Cerâmica do DEMa/CCT/UFPB, Campina Grande, PB.



FIGURA 3.8 - Separador magnético utilizado na desferrização dos resíduos.

3.2.2.3.4 - Reologia das Matérias-Primas Plásticas

A reologia das matérias-primas plásticas foram determinadas de acordo com a sistemática preconizada por SOUZA SANTOS (1992) para uso em grés sanitário. As barbotinas foram preparadas numa concentração de aproximadamente de 58% de sólidos, às quais foram adicionados água destilada

e o defloculante silicato de sódio (densidade igual $1,46 \text{ g/cm}^3$) industrial para obter uma fluidez no ponto inicial e uma densidade de $1,56 \text{ g/cm}^3$. Em seguida foi determinada a viscosidade aparente em um viscosímetro do tipo Brookfield utilizando Spindle 3 nas rotações de 10, 20, 50 e 100 rpm, velocidade de deposição (VD) e tempo de secagem (TS).

3.2.2.3.5 - Reologia das Massas Cerâmicas

Os ensaios foram realizados de acordo com a sistemática proposta por SOUZA SANTOS (1992) que compreende: a) reologia da composição das massas, mantendo-se todos os componentes da massa-padrão de uso corrente na indústria de grés sanitário, substituindo apenas a fração percentual de quartzo e feldspato pelo resíduo em estudo; b) conformação pelo processo de colagem e c) medida das características cerâmicas da massa após queima a 1150°C , 1200°C e 1250°C .

3.2.2.3.5.1 - Formulação das Massas

As massas cerâmicas foram formulada através do programa computacional REFORMIX 2.0, já descrito anteriormente.

3.2.2.3.5.2 - Preparação das Barbotinas

As barbotinas foram preparadas numa concentração de aproximadamente de 72% de sólidos às quais foram adicionadas água destilada e o defloculante silicato de sódio (densidade = $1,40 \text{ g/cm}^3$) suficiente para obter uma densidade de $1,80 \text{ g/cm}^3$ e fluidez no ponto inicial. Em seguida foram determinadas as seguintes propriedades: viscosidade aparente, utilizando viscosímetro Brookfield Spindle 3 nas rotações de 10, 20, 50 e 100 rpm; velocidade de deposição (VD), tempo de secagem (SD), e destacamento.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física e mineralógica das matérias-primas alternativas na forma de resíduos oriundos da serragem de granito e das matérias-primas convencionais plásticas e não plásticas. A caracterização física inclui a determinação da massa específica real, distribuição granulométrica, área específica, limites de Atterberg. A caracterização mineralógica inclui a determinação da composição química, análises termodiferencial e termogravimétrica, difração de raios-X, capacidade de troca de cátions, microscopia eletrônica de varredura e microscopia eletrônica de transmissão. A caracterização Ambiental incluiu a determinação dos constituintes químicos através dos ensaios de solubilização e lixiviação.

4.1-Matérias-primas Alternativas na Forma de Resíduos

4.1.1- Massa Específica Real (MER)

A Tabela 4.1 apresenta os resultados da massa específica real dos resíduos estudados.

Observando os resultados contidos na Tabela 4.1, verifica-se que os valores da massa específica real variaram de 2,6300 g/cm³ para R-02 à 2,8000 g/cm³ para o R-05. Os resíduos R-01, R-02 e R-03 apresentaram valores de massa específica real bastante próximos 2,6900 g/cm³, 2,6600 g/cm³ e 2,7000 g/cm³, respectivamente. Comparando estes resultados com a faixa de valores da literatura (FERREIRA, 1973; SOUZA SANTOS, 1992) para as matérias-primas cerâmicas convencionais não plásticas (granito, quartzo e feldspato) verifica-se

que os resíduos R-01, R-02 e R-03 encontra-se na faixa ($2,6000 \text{ g/cm}^3$ a $2,7000 \text{ g/cm}^3$). Os valores superiores a $2,7500 \text{ g/cm}^3$ (R-04 e R-05) são devidos a presença em excesso da granalha nos resíduos.

Tabela 4.1– Massa específica real dos resíduos estudados.

Resíduos	Massa Específica Real (g/cm^3)	Desvio Padrão (g/cm^3)
R-01	2,6900	$\pm 0,0005$
R-02	2,6600	$\pm 0,0005$
R-03	2,7000	$\pm 0,0008$
R-04	2,7700	$\pm 0,0006$
R-05	2,8000	$\pm 0,0014$
REF. (FERREIRA, 1973; SOUZA SANTOS, 1992)	2,60-2,70	ND

ND- Não Determinado.

4.1.2 – Distribuição de Tamanho de Partículas

A Tabela 4.2 apresenta os valores da distribuição granulométrica por peneiramento e sedimentação dos resíduos estudados.

Observando-se os valores contidos na Tabela 4.2, verifica-se que os resíduos estudados apresentaram 99,0% para R-01 e 77,5% para R-05 em peso de partículas com diâmetro equivalente abaixo de $70\mu\text{m}$, estando dentro da faixa de valores dos resíduos de granitos do estado de São Paulo determinado por FREIRE & MOTA, (1995), entre 80,0% a 100,0%, com exceção do R-01. Entretanto, as diferenças granulométricas são acentuadas para todos os diâmetros entre o resíduo R-01 e os resíduos R-02, R-03, R-04 e R-05, quando se tem R-01 com 15% e R-02, R-03, R-04 e R-05 com 7,0%, 7,0%, 6,0% e 8,0%, respectivamente para diâmetro equivalente abaixo de $2\mu\text{m}$, estando dentro da faixa de valores da distribuição de tamanho de partículas das matérias-primas convencionais não plásticas utilizadas na indústria cerâmica (quartzo, feldspato e calcita) segundo BARBA et al. (1997) ($D < 2\mu\text{m}$ de 5% a 10%).

TABELA 4.2- Distribuição granulométrica por peneiramento^(*) e sedimentação dos resíduos estudados.

Resíduos	Massa Acumulada (%)								
	Diâmetro Médio das Partículas(μm)								
	70	60	50	40	30	20	10	5	2
R-01	99,0	97,0	96,0	90,0	86,0	77,0	57,0	34,0	15,0
R-02	89,0	85,0	79,0	73,0	63,0	48,0	34,0	17,0	7,0
R-03	80,0	75,0	71,0	65,0	63,0	52,0	36,0	19,0	7,0
R-04	85,0	80,0	76,0	73,0	68,0	59,0	42,0	24,0	6,0
R-05	77,5	77,0	74,0	74,0	66,0	49,0	37,0	20,0	8,0
REF. (FREIRE & MOTA, 1995)	99,4	98,0	95,9	91,5	83,3	69,5	39,6	19,5	1,8

(*) Estes resíduos tem granulometria inferior a peneira ABNT N^o 200 (0,074mm).

A Figura 4.1. apresenta as curvas da distribuição de tamanho de partículas obtida pelo método de sedimentação através de absorção de luz óptica.

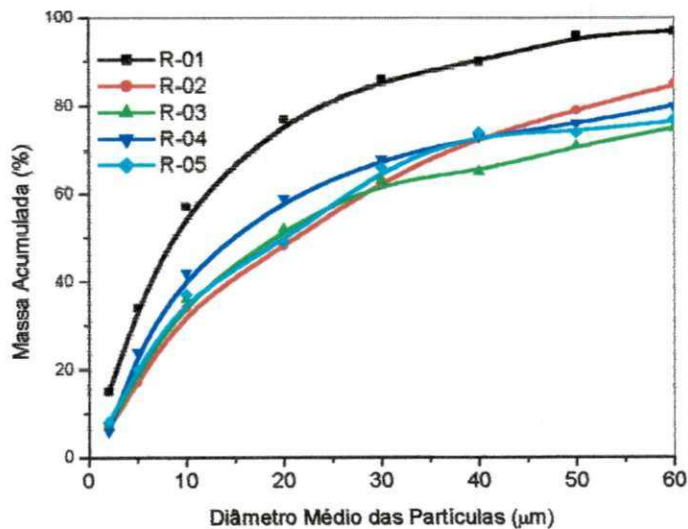


FIGURA 4.1 – Distribuição de tamanho de partículas dos resíduos estudados.

Observando as curvas da Figura 4.1, verifica-se que os resíduos estudados R-01, R-02, R-03, R-04 e R-05 apresentaram porcentagens inferiores a 55,0% de peso de massa acumulada para um diâmetro médio equivalente abaixo 10 μm , sendo os resíduos R-02 e R-05 os que apresentaram maiores porcentagens de

finos, estando dentro da faixa de valores da distribuição de tamanho de partículas das matérias-primas convencionais não plásticas (quartzo, feldspato e calcita) utilizadas na indústria cerâmica segundo BARBA et al. (1997) ($DM < 10\mu m$ inferior a 50%).

A Figura 4.2. apresenta a distribuição de tamanho de partículas em função da frequência obtida pelo método de sedimentação através de absorção de luz óptica dos resíduos estudados.

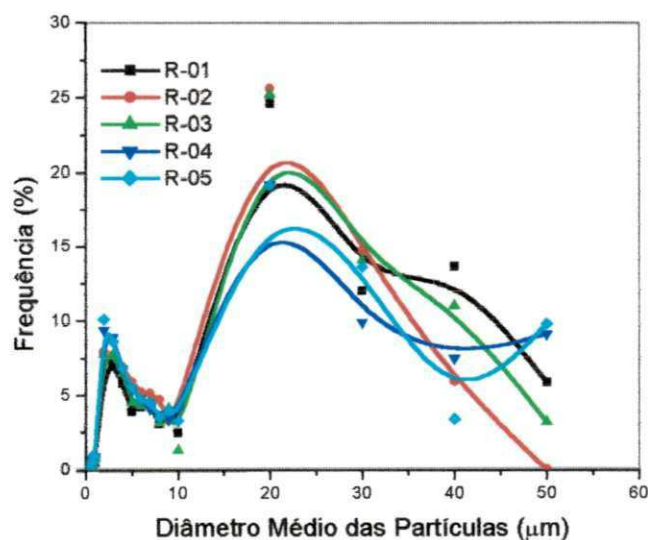


FIGURA 4.2 – Resultado da distribuição de tamanho de partículas em função da frequência dos resíduos estudados.

Observando as curvas da Figura 4.2, verifica-se que os resíduos estudados apresentaram maiores concentrações de tamanho de partículas entre 20 e 30 μm para uma frequência de aproximadamente de 26%, estando dentro da faixa de valores das matérias-primas convencionais não plásticas utilizadas na indústria cerâmicas (diâmetro médio inferior entre 10 e 40 μm).

A Tabela 4.3 apresenta os resultados das áreas específicas dos resíduos estudados determinadas pelo método de sedimentação através de absorção de luz óptica e BET.

TABELA 4.3 - Áreas específicas (AE) dos resíduos estudados.

Resíduos	A.E (sedimentação) m ² /g	A.E(BET) m ² /g
R-01	0,46	11,41
R-02	0,57	6,90
R-03	0,46	6,16
R-04	0,56	5,00
R-05	0,51	5,10
REF. (FERREIRA, 1973; SOUZA SANTOS, 1992)	0,43 – 0,70	3,33 – 19,80

Observando-se os resultados contidos na Tabela 4.3, verifica-se que as faixas de valores encontradas para os resíduos estudados foram de 0,46 m²/g para os resíduos R-01 e R-03 a 0,57 m²/g para o resíduo R-02 pelo método de sedimentação. Para áreas específicas determinadas pelo BET as faixas de valores foram de 5,00 m²/g para o resíduo R-04 a 11,41 m²/g para o resíduo R-01. Observa-se também que os resíduos R-02, R-03, R-04 e R-05 apresentaram valores de áreas específicas praticamente semelhantes. Estes resultados foram superiores aos das matérias-primas cerâmicas convencionais não plásticas quartzo (1,33 m²/g) e feldspato (2,41 m²/g) para áreas específicas determinadas pelo BET. Entretanto para área específica determinada pelo método de sedimentação, os valores dos resíduos R-02, R-04 e R-05 foram superiores ao quartzo (0,40 m²/g) e feldspato (0,50 m²/g). Comparando esses resultados com os determinados por FERREIRA (1973) e SOUZA SANTOS (1992) para áreas específicas determinadas pelo BET e granulométrico, verifica-se que se encontram na faixa de caulim primário (3,33 m²/g a 19,80 m²/g pelo BET e de 0,43 m²/g a 0,70 m²/g pelo granulométrico).

Em relação ao seu uso como matérias-primas cerâmicas, este nível de cominuição é similar ao das partículas que compõem as massas convencionais, o que facilita seu uso, sendo desnecessário processos de cominuição complementares.

4.1.3 – Análise Química (AQ)

As Tabelas 4.4 e 4.5, apresentam os valores da composição química dos resíduos estudados.

TABELA 4.4 – Composição química dos resíduos no estado natural.

Amostra	PF (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
R-01	4,44	59,61	5,98	11,77	4,48	traços	2,70	3,63
R-02	2,93	88,91	traços	6,40	traços	traços	0,14	0,06
R-03	2,57	60,20	6,30	13,80	6,02	traços	3,38	3,63
R-04	0,78	65,01	7,62	13,86	3,64	traços	2,38	3,63
R-05	6,10	54,75	8,38	12,90	8,40	traços	4,05	3,03
REF. (SILVA, 1998; CALMON et al., 1998)	ND	62,03	10,73	12,10	4,92	ND	3,14	5,20

ND= Não Determinada; PF-Perda ao Fogo

Observando os valores da composição química (Tabela 4.4), verifica-se que os resultados evidenciaram que os resíduos são classificados como sendo silico-aluminosos com elevados teores de sílica, $\geq 55\%$ e teores de Al₂O₃ e Fe₂O₃ em torno de 12 e 6% respectivamente, com exceção do resíduo R-02 que apresentou cerca de 6% de Al₂O₃ e apenas traços de Fe₂O₃. A inexistência de Fe₂O₃ no resíduo R-02, que o diferencia dos demais, está relacionada às particularidades de processo de beneficiamento que é efetuado com disco diamantado. A presença de óxido de cálcio e óxido de ferro (CaO e Fe₂O₃) encontrados nas amostras é oriundas principalmente da granalha e cal utilizados como abrasivo e lubrificante respectivamente. Com relação ao uso cerâmico os teores de ferro (Fe₂O₃) superiores a 6% presente nos resíduos conduzirão provavelmente após sinterização a colorações avermelhadas. Os óxidos de ferro (Fe₂O₃), cálcio (CaO), sódio e potássio (Na₂O e K₂O) presentes são agentes fundentes, sendo que, o sódio e o potássio são oriundos do feldspato e da mica do granito. Comparando esses resultados com os dados da literatura (SILVA, 1998; CALMON et al., 1998) verifica-se que são similares, com exceção do resíduo R-02 que não possui ferro.

Observando os valores da Tabela 4.5, verifica-se que os resíduos estudados apresentaram após o tratamento de desferrização uma redução nos teores de Fe₂O₃ de 69,2% para R-01, 74,6% para R-03, 52,75% para R-04 e 80,42% para R-05. Com relação ao uso cerâmico a redução nos teores de ferro

(Fe_2O_3) presente nos resíduos provavelmente conduzirá, após sinterização, a uma coloração clara.

TABELA 4.5 - Composição química dos resíduos após tratamento de desferrização.

Amostra	PF (%)	SiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	Al_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)
R-01	5,18	64,57	1,84	19,09	2,80	traços	2,00	3,00
R-03	3,35	68,69	1,60	18,06	2,52	traços	2,42	3,00
R-04	2,17	67,68	3,60	18,10	2,80	traços	2,00	3,00
R-05	9,86	65,02	1,64	18,00	traços	traços	2,00	3,00

PF-Perda ao Fogo

4.1.4 – Análise Térmica (ATD e ATG)

As Figuras 4.3 e 4.4 apresentam as curvas de análises termodiferenciais e termogravimétricas dos resíduos estudados.

A Figura 4.3 apresenta as curvas de análises termodiferenciais e dos resíduos estudados.

Analisando as curvas de ATD das Figuras 4.3, verifica-se que os resíduos R-01, R-03, R-04 e R-05 apresentaram pico endotérmico de pequena intensidade a 110°C , o que caracteriza a presença de água livre; pico endotérmico de pequena intensidade a 556°C , correspondente à transformação de quartzo alfa em quartzo beta; pico endotérmico de pequena intensidade correspondente à perda de hidroxilas da mica a 740°C ; pico endotérmico de pequena intensidade correspondente a recristalização da mica a 780°C e pico endotérmico de pequena intensidade correspondente a decomposição do carbonato de cálcio à 820°C . O resíduo R-02 apresentou: pico endotérmico de pequena intensidade a 110°C , o que caracteriza a presença de água livre e adsorvida; pico endotérmico de pequena intensidade a 570°C , correspondente à transformação de quartzo alfa em quartzo beta e perda de hidroxilas da caulinita e pico exotérmico de pequena intensidade correspondente à nucleação de mulita.

A Figura 4.4 apresenta as curvas de análises termogravimétricas dos resíduos estudados.

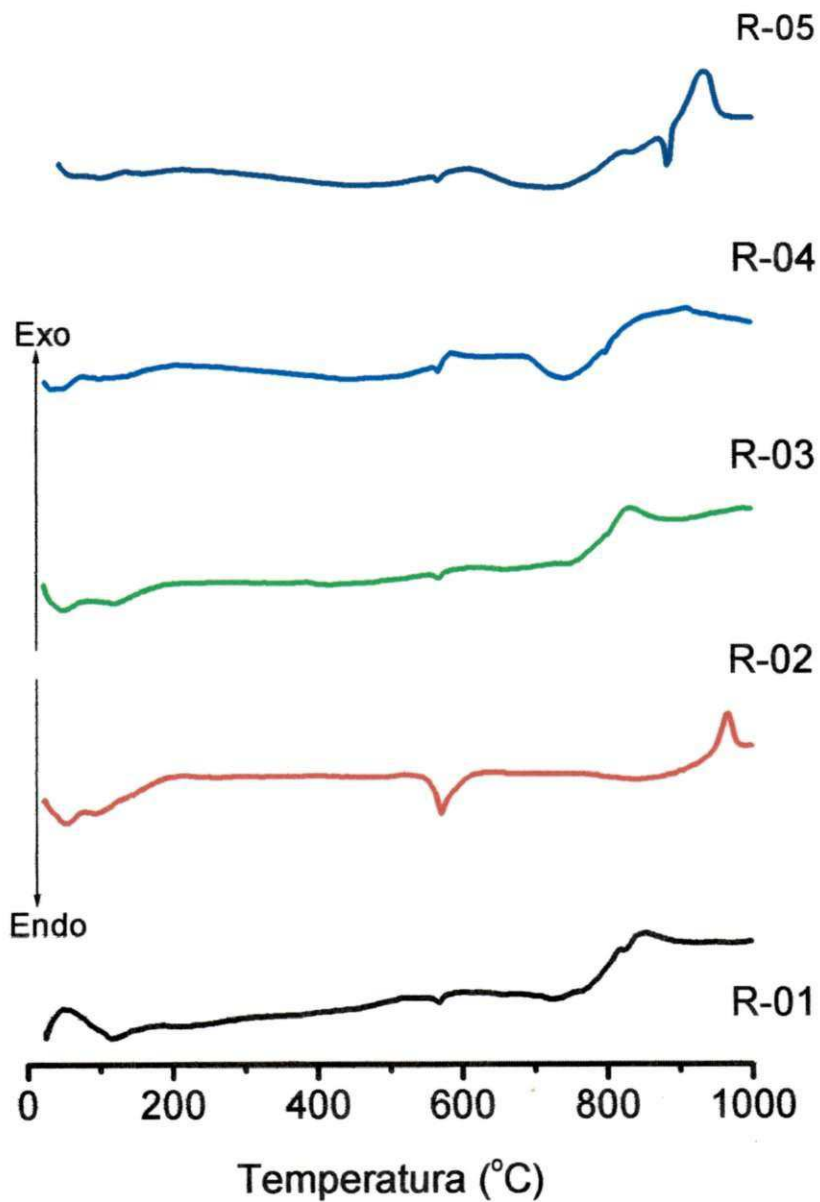


FIGURA 4.3 - Análises termodiferenciais dos resíduos estudados.

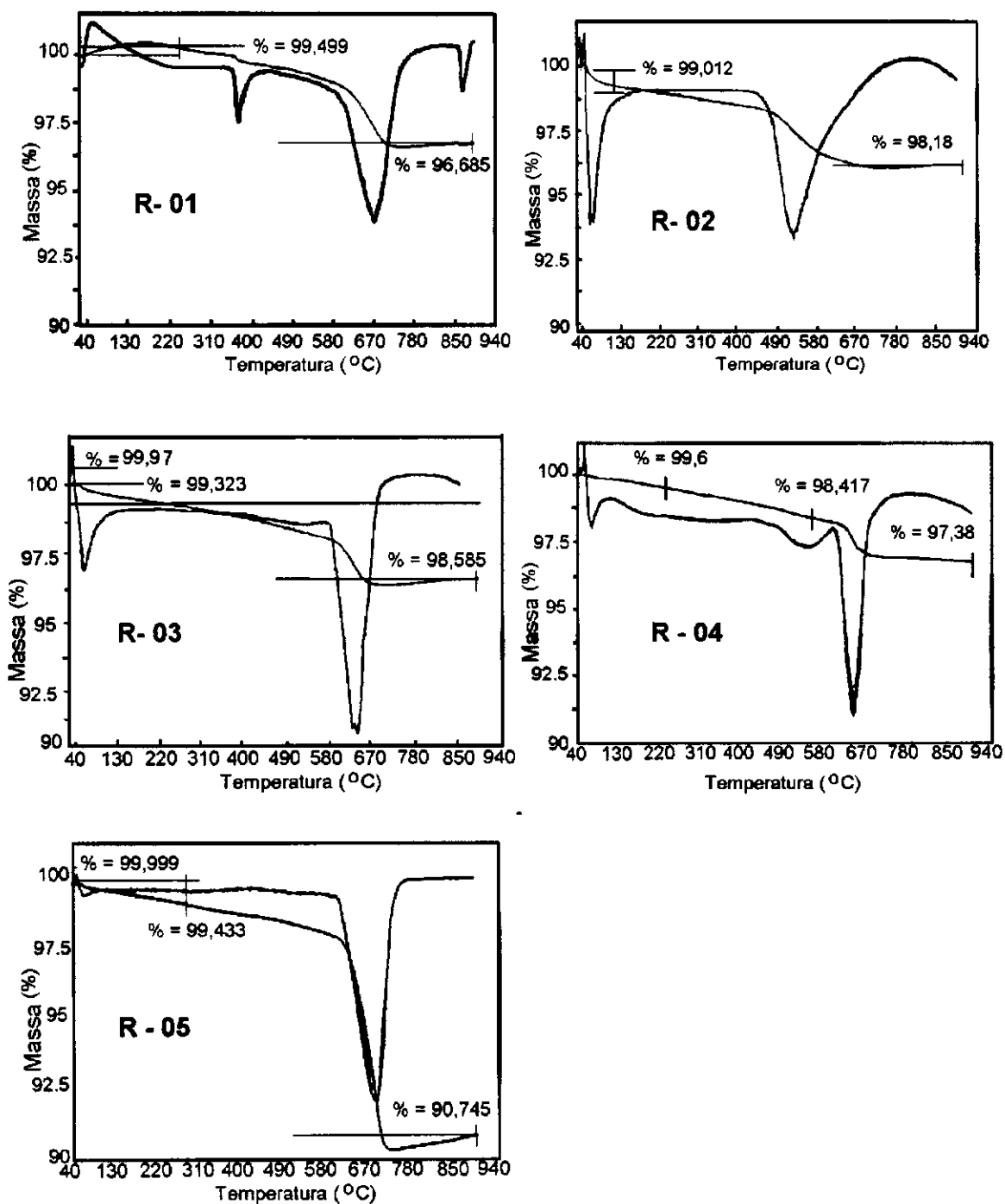


FIGURA 4.4 – Análises termogravimétricas dos resíduos estudados.

Analisando as curvas de ATG da Figuras 4.4, verifica-se para o resíduo R-01: pequena perda de massa (0,03%) entre 60 e 262°C, correspondente à perda de água livre e adsorvida; perda de massa (0,50%) entre 262 e 516°C correspondente à perda de hidroxilas da mica; perda de massa (3,31%) entre 516 e 850°C correspondente à decomposição do carbonato de cálcio. Para o resíduo R-02 observa-se pequena perda de massa (0,98%) entre temperatura ambiente e 296°C correspondente à perda de água livre e adsorvida e perda de massa (3,84%) entre 286°C e 670°C correspondente à perda de hidroxilas da caulinita. Para o resíduo R-03 observa-se pequena perda de massa (0,67%) entre 60° C e 220°C correspondente à perda de água livre e adsorvida; perda de massa (3,41%) entre 220°C e 850°C, correspondente à perda de hidroxilas da mica e perda de decomposição do carbonato de cálcio. Para R-04, verifica-se pequena de massa (0,40%) entre 26 e 220° C, correspondente à perda de água livre e adsorvida; perda de massa (1,58%) entre 220 e 550°C correspondente à decomposição do carbonato de magnésio; perda de massa (2,62%) entre 550 e 850°C correspondente à perda de hidroxila da mica e decomposição do carbonato de cálcio. Para o resíduo R-05, verifica-se: pequena perda de massa (0,56%) entre 26 e 220°C, correspondente à perda de água livre e adsorvida; perda de massa (9,25%) entre 220 e 850°C correspondente à perda de hidroxilas da mica e decomposição do carbonato de cálcio. Comparando-se estes resultados com valores dos resíduos de granitos do estado do Espírito Santos determinados por SOUZA (1998) e MOTHÉ FILHO et al. (2001), verifica-se que os resíduos estudados apresentaram curvas termogravimétricas similares.

4.1.5 – Difração de Raios - X (DRX)

A Figura 4.5 mostra as difrações de raios-X dos resíduos estudados.

Observando-se os difratogramas observa-se a presença nos resíduos R-01, R-03, R-04 e R-05 de quartzo (SiO_2), caracterizado pelas distancias interplanares de 3,34Å microclina (feldspato potássico- KAlSi_3O_8), caracterizado por 4,24 e 3,20Å albita (feldspato sódico- $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), caracterizado por 4,03 e

3,19A° e em menor quantidade mica moscovita, caracterizado por 10,04 A° e calcita (CaCO₃), caracterizado por 3,03 e 2,13A°.

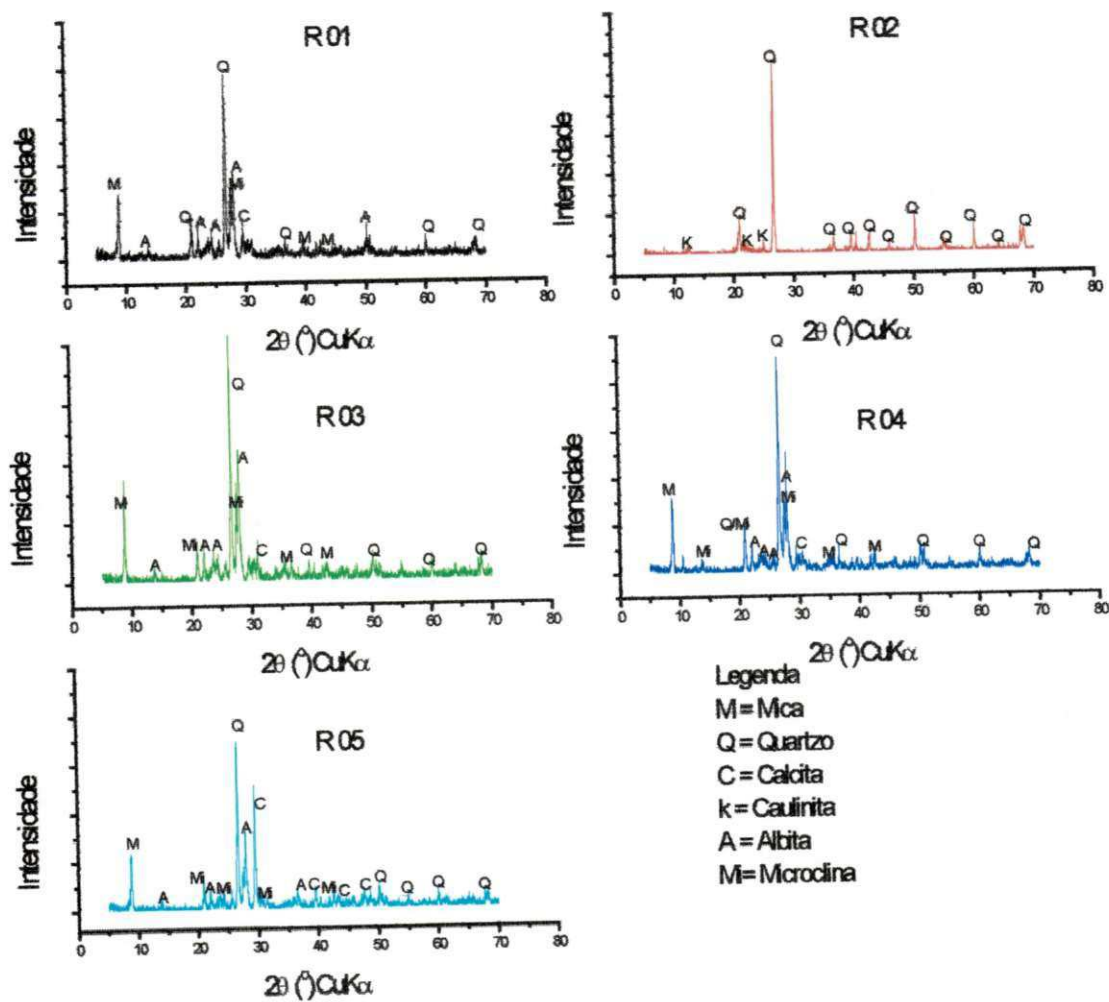


FIGURA 4.5 – Difração de raios-X dos resíduos estudados.

Para o resíduo R-02 o difratograma mostrou presença de quartzo (SiO_2), caracterizado pelas distâncias interplanares de $4,24$ e $3,34\text{Å}$ e menor quantidade de caulinita, caracterizado por $7,15$ e $3,56\text{Å}$. Comparando esses resultados com os difratogramas dos resíduos de granito do Estado do Espírito Santo determinado por SILVA (1988) verifica-se que são similares. Analisando conjuntamente os resultados das difrações de raios-X da Figura 4.5, verificam-se as principais fases presentes nos resíduos R-01, R-03, R-04 e R-05, como são misturas de quartzo, feldspato, mica e calcita, e o R-02 que é composto de quartzo e caulinita.

4.1.6 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Nas Figuras 4.6 a 4.10 e a Tabela 4.6, são apresentadas a morfologia, dimensões e constituintes químicos dos resíduos estudados obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e por microsonda de energia dispersiva de raios-X (EDS).

Nas Figuras 4.6 A e 4.6 B, são apresentadas as micrografias obtidas para o resíduo R-01. Na Figura 4.6 A é mostrado uma vista geral da morfologia e distribuição dos tamanhos das partículas, e na Figura 4.6 B um aumento da região A da Figura 4.6 A.

Analisando as micrografias das Figuras 4.6.A e 4.6.B verifica-se que o resíduo R-01 apresentou partículas com morfologia irregular e superfície arredondada, enquanto outras fases presentes apresentaram partículas com cantos angulosos com diâmetro equivalente variando de $1,42\mu\text{m}$ a $12,50\mu\text{m}$.

As Figuras 4.6 A e 4.6 B e a Tabela 4.6 apresentam os constituintes químicos para o resíduo R-01. Para Figura 4.6 A observamos picos bem pronunciados de elevadas concentrações de Si, Fe, Ca, K, Al e outro pouco evidente de Mg. Para a Figura 4.6 B verifica-se picos bem pronunciados de elevadas concentrações de Si proveniente da sílica livre e combinada, Fe provenientes da granalha e da mica, Ca proveniente da cal, Al proveniente do feldspato, K proveniente do feldspato ortoclássico e da mica e outros pouco

evidentes de Mg proveniente da mica. Os resíduos R-03, R-04 e R-05 apresentaram resultados semelhantes.

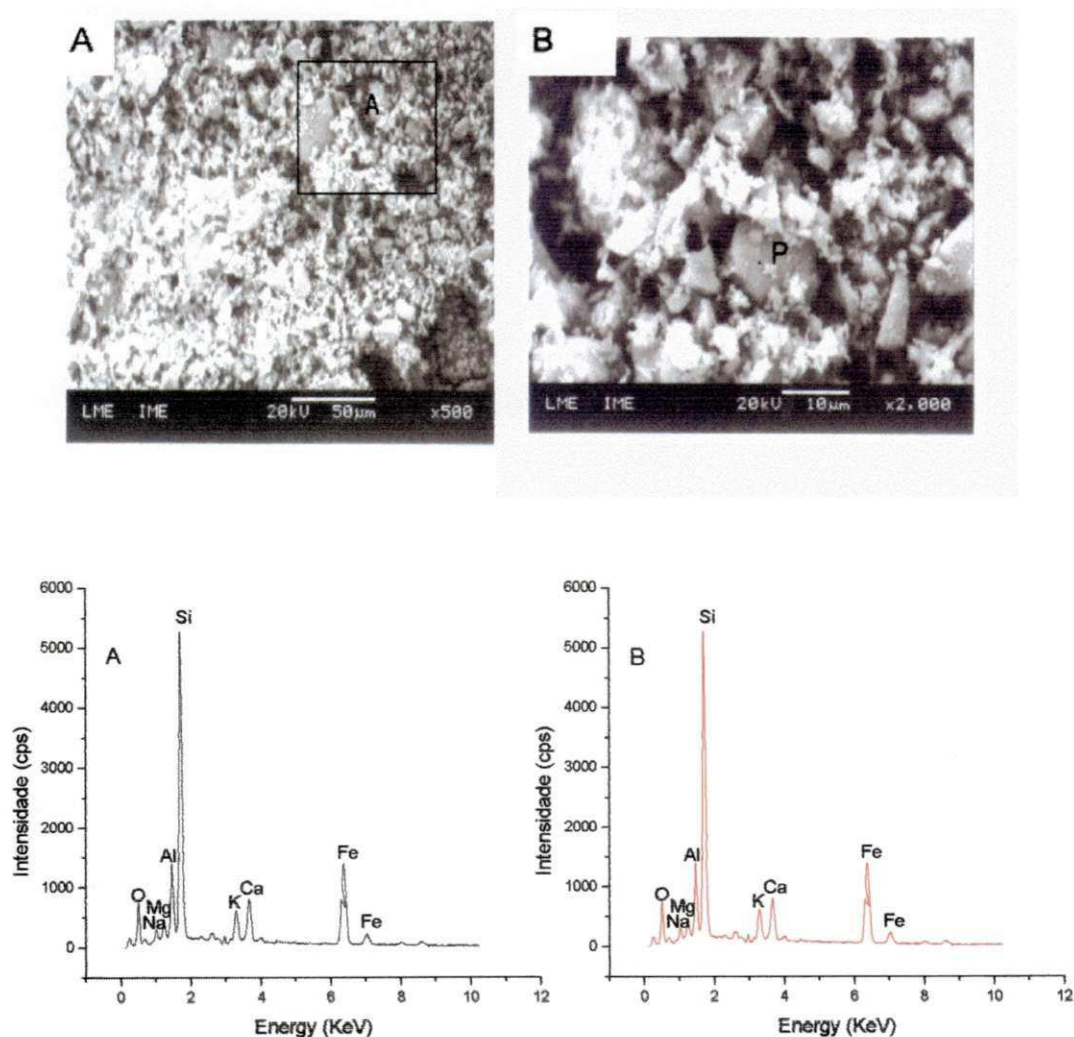


FIGURA 4.6 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise por microsonda de energia dispersiva (EDS) do resíduo R-01: A) completa, B) região A.

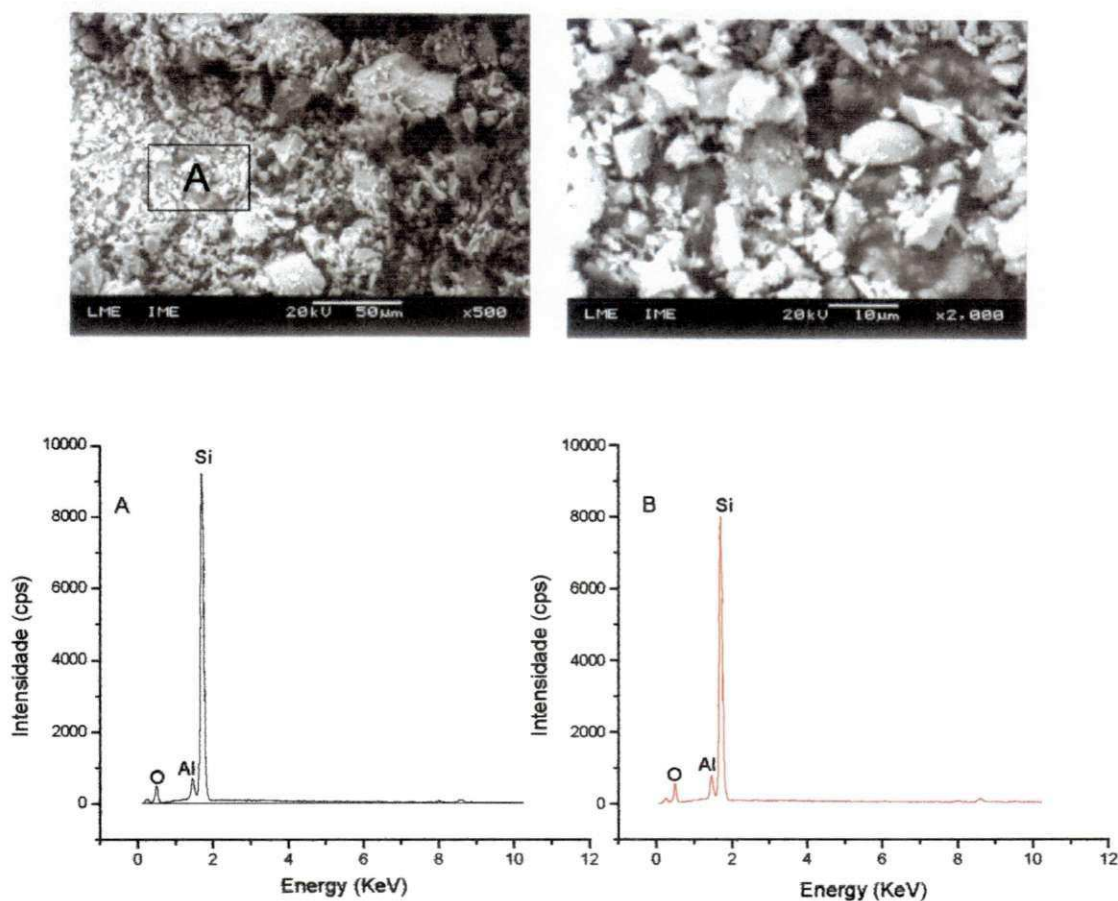


FIGURA 4.7 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise por microsonda de energia dispersiva (EDS) do resíduo R-02: A) completa, B) região A.

As Figuras 4.7 A e 4.7 B, apresentam as micrografias obtidas para o resíduo R-02. Analisando estas micrografias verifica-se que o resíduo R-02 apresentou partículas com morfologia irregular e superfície arredondada, enquanto outras fases presentes apresentaram partículas com cantos angulosos com diâmetro equivalente variando de $0,8\mu\text{m}$ a $11,42\mu\text{m}$.

As Figuras 4.7 A e 4.7 B e a Tabela 4.6 apresentam os constituintes químicos para o resíduo R-02. Para Figura 4.7 A, observamos picos bem pronunciados de elevadas concentrações de Si e pequeno teor de Al. Para a

Figura 4.7 B, verifica-se pico bem pronunciado de elevada concentração de Si proveniente da sílica livre e outro pouco evidente de Al proveniente da caulinita. Estes valores confirmam os resultados obtidos na análise química.

Na Figura 4.8 são apresentados os resultados obtidos para MEV e sua respectiva composição através do EDS para o resíduo R-01 prensado.

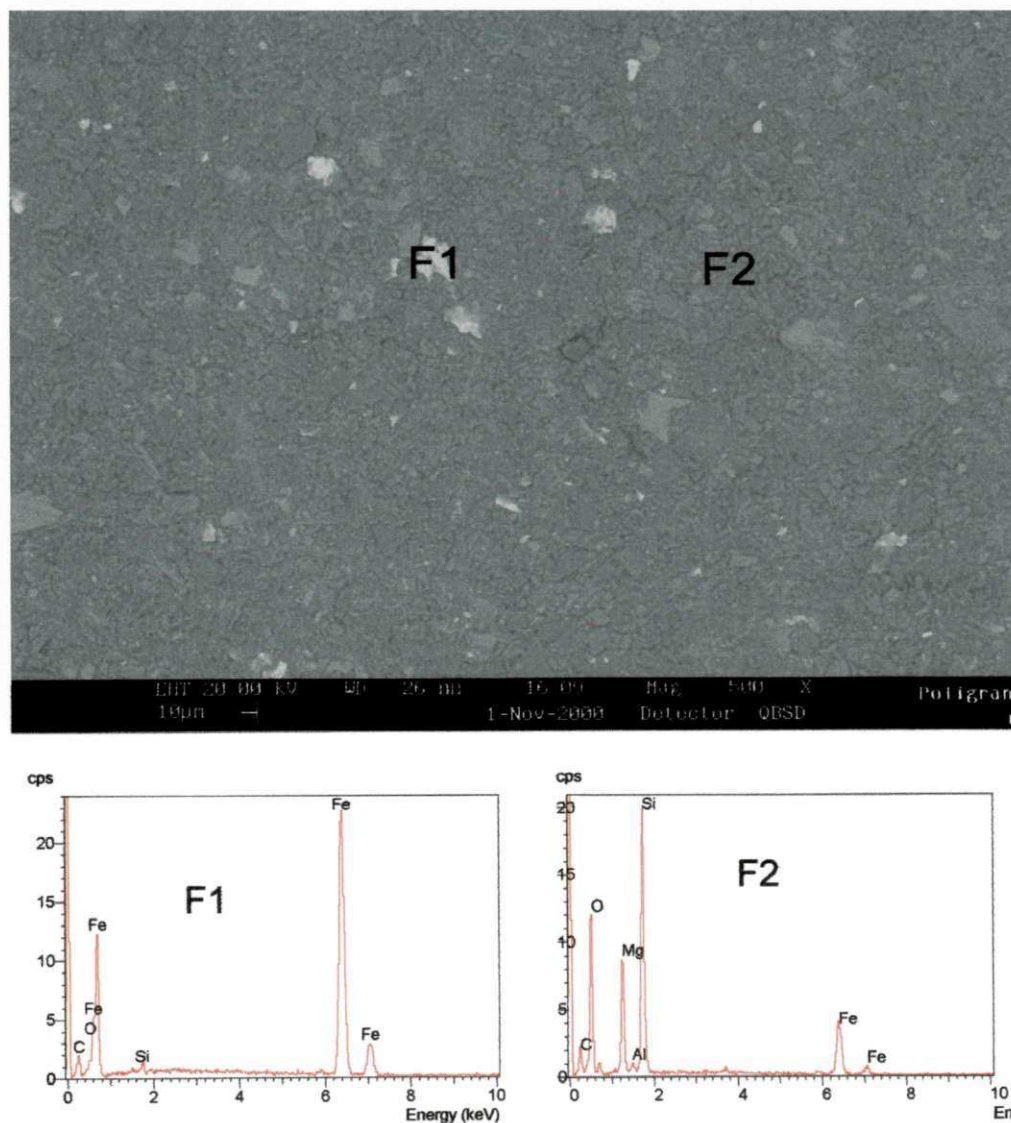


FIGURA 4.8 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise por microsonda de energia dispersiva (EDS) do resíduo R-01 prensado.

TABELA 4.6 – Constituintes químicos obtidos por EDS dos resíduos R-01 e R-02.

Resíduo	Figura	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K
R 01	4.6 A	41,44	10,60	14,42	14,21	1,42	11,25
R 01	4.6 B	50,22	6,11	26,53	7,39	2,61	5,31
R 02	4.8 A	95,50	4,67	traços	traços	traços	traços
R 02	4.8 B	96,50	3,53	traços	traços	traços	traços

Analisando os resultados da Figura 4.8 verifica-se que a fase F1 apresenta picos bem pronunciados de composto ferruginoso com pouco oxigênio provavelmente ferro metálico proveniente da granalha. Para a fase F2 verifica-se pico bem pronunciado de compostos de sílica e alumina oriundos da sílica livre e feldspato, magnésio oriundo da mica ou da cal e ferro proveniente da granalha e da mica. Para o resíduo R 02 não foi encontrado contaminante. Os resíduos R-03, R-04, R-05 apresentaram contaminantes semelhantes ao R-01. Estes resultados confirmam os valores obtidos pela análise química.

4.2 - Matérias-primas Convencionais

4.2.1 – Massa específica Real (MEA)

A Tabela 4.7 apresenta as massas específicas reais das matérias-primas convencionais plásticas e não plásticas estudadas.

TABELA 4.7 – Massa específica real das matérias-primas convencionais estudadas.

Amostras	Massa Específica Real (g/cm ³)	Desvio Padrão (g/cm ³)
"Ball clay" 01	2,7200	± 0,0031
"Ball clay" 02	2,5900	± 0,0021
CINCERA	2,6700	± 0,0045
Caulim	2,5900	± 0,0032
Feldspato	2,6000	± 0,0002
Calcita	2,7100	± 0,0003
Quartzo	2,6600	± 0,0010
Ref.FERREIRA (1973), SOUZA SANTOS (1992) e MELO & NEVES (2000).	2,60-2,70	ND

ND-Não Determinado.

Observando os valores contidos na Tabela 4.7, verifica-se que as matérias-primas convencionais plásticas apresentaram massa específica real de: 2,7200g/cm³ ("ball clay" 01), 2,6700g/cm³ (CINCERA), 2,5900 g/cm³ ("ball clay" 02) e 2,5900g/cm³ caulim, estando dentro da faixa de valores das argilas plásticas de São Simão e argila vermelha do estado da Paraíba (2,6000 g/cm³ e 2,7000g/cm³) determinada por SOUZA SANTOS(1992) e MACEDO(1996), com exceção da argila ball clay 01 que apresenta teor de ferro elevado. Para as matérias-primas convencionais não plásticas os valores encontrados foram de 2,6000g/cm³ (feldspato), 2,7100g/cm³ (calcita) e 2,6600g/cm³ (quartzo) estando dentro da faixa de valores entre 2,6000 g/cm³ e 2,7000 g/cm³ das matérias-primas oriundos do Pegmatito da Borborema determinados por FERREIRA (1973), SOUZA SANTOS(1992) e MELO & NEVES (2000), com exceção da calcita.

4.2.2 – Distribuição de Tamanho de Partículas

A Tabela 4.8 apresenta os valores da distribuição de tamanho de partículas obtidos por peneiramento e sedimentação das matérias-primas convencionais estudadas.

TABELA 4.8 - Distribuição de tamanho de partículas por peneiramento (*) e sedimentação das amostras estudadas.

Amostra	Massa Acumulada (%)								
	Diâmetro Médio das Partículas (µm)								
	70	60	50	40	30	20	10	5	2
"Ball clay" 01	95,0	94,0	92,0	91,0	91,0	91,0	86,0	77,0	54,0
"Ball clay" 02	99,0	98,5	97,5	96,0	96,0	96,0	93,0	80,0	40,0
CINCERA	95,0	89,0	85,0	83,0	80,0	72,0	60,0	48,0	44,0
Caulim	97,0	94,0	92,0	93,0	87,0	86,0	73,0	67,0	23,0
Feldspato	82,0	78,0	74,0	64,0	56,0	46,0	33,0	20,0	8,0
Quartzo	73,0	72,0	60,0	52,0	44,0	34,0	24,0	10,0	5,0
Calcita	100,0	89,0	88,0	87,0	84,0	75,0	58,0	58,0	57,0
Ref. Argila São Simão	ND	ND	98,20	97,0	96,0	93,2	86,1	79,8	67,6
Ref. Caulim Embú-Guaçú	ND	ND	100	100	99,3	93,2	68,9	45,0	24,1

(*) Estes resíduos tem granulometria inferior a peneira ABNT N° 200 (0,074mm); ND-Não Determinado

Observando os valores contidos na Tabela 4.8, verifica-se que argilas “ball clay” apresentaram um peso de partículas de diâmetro equivalente abaixo de $10\mu\text{m}$ entre 86% e 93%, estando dentro da faixa de valores da argila de São Simão, com 86% determinada por CARDOSO et al. (1998). A diferença granulométrica começa a ser nítida a partir de $2\mu\text{m}$, quando se tem “ball clay” 01 com 54% e “ball clay” 02 com 40%. O caulim apresentou em peso de partículas com diâmetro equivalente abaixo de $10\mu\text{m}$ de 73%, estando dentro da faixa de valores de caulim de Embú-Guaçú, entre 68% e 75% determinada por CARDOSO et al. (1998). A argila CINCERA apresentou em peso de partículas com diâmetro equivalente abaixo de $10\mu\text{m}$ de 60,0%, estando dentro da faixa de valores de argilas utilizadas em cerâmica vermelha, entre 50% e 70% determinada por VIEIRA et al. (2000). Conforme classificação da norma da ABNT NBR 7181(1984), as matérias-primas plásticas apresentaram um percentual da fração argila acima de 60% e teor de silte abaixo de 40%. As matérias-primas convencionais não plásticas, calcita, feldspato e o quartzo apresentaram porcentagens em peso de partículas com diâmetro equivalente abaixo de $10\mu\text{m}$ de 58,00%, 24,00% e 33,00% respectivamente estando dentro da faixa de valores das matérias-primas dos Pegmatitos da Borborema entre 20%-60% utilizadas normalmente na cerâmica tradicional determinadas por FERREIRA (1973), SOUZA SANTOS (1992) e SOUTO et al. (2000). Entretanto existe uma acentuada diferença granulométrica para todos os diâmetros entre a calcita e quartzo e feldspato.

As Figuras 4.9 a 4.12 apresentam as curvas de distribuição de tamanhos de partículas das matérias-primas convencionais plásticas e não plásticas respectivamente obtidas pelo método de sedimentação através de absorção de luz óptica.

A Figura 4.9 apresenta a distribuição de tamanho de partículas obtida pelo método de sedimentação através de absorção de luz óptica das matérias-primas plásticas.

Observando as curvas da Figura 4.9, verifica-se que as argilas “ball clay” e caulim apresentaram percentagens de massa acumulada para diâmetro médio equivalente abaixo $2\mu\text{m}$ acima de 42%, estando dentro da faixa de valores das

argilas de São Simão, entre 40% e 60% determinada por CARDOSO et al. (1998). A argila CINCERA apresentou percentagem de 63% de massa acumulada para um diâmetro médio equivalente abaixo de 20 μm , estando dentro da faixa de valores das argilas utilizadas em cerâmica vermelha, entre 40% e 70% determinada por MACEDO (1986) e VIEIRA et al. (2000).

Figura 4.10 apresenta a freqüência da distribuição de tamanhos de partículas em função da freqüência obtida pelo método de sedimentação através de absorção de luz óptica das matérias-primas convencionais plásticas.

Observando as curvas da Figura 4.10, verifica-se que as argilas "ball clay" e caulim apresentaram elevadas concentrações de diâmetro médio equivalente de partículas entre 0 e 10 μm para freqüência de aproximadamente de 27%, estando dentro da faixa de valores das matérias-primas convencionais plásticas determinada por CARDOSO, et al. (1998). A argila CINCERA apresentou diâmetro médio equivalente de partículas entre 10 e 30 μm , estando dentro da faixa de valores das argilas utilizadas em cerâmica vermelha, entre 5 e 30 μm determinadas por MACÊDO(1996) e VIEIRA, et al. (2000).

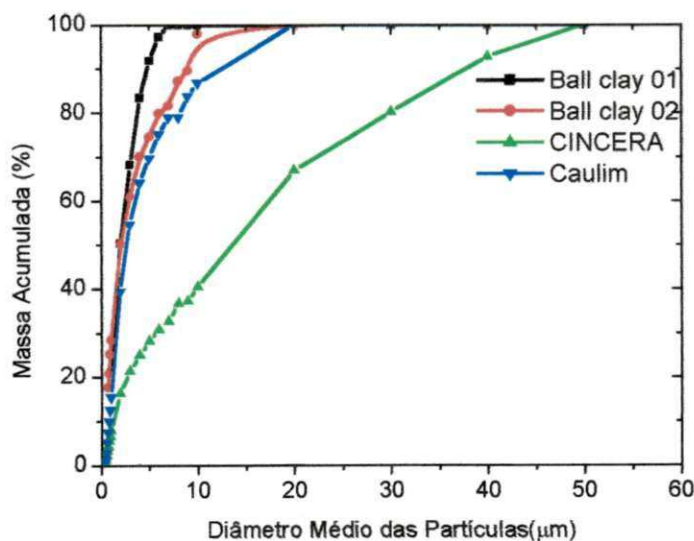


FIGURA 4.9 – Distribuição do tamanho de partículas das matérias-primas convencionais plásticas.

A Figura 4.11 apresenta a distribuição de tamanho de partículas obtida pelo método de sedimentação através de absorção de luz óptica das matérias-primas convencionais não plásticas.

Observando as curvas da Figura 4.11 para as matérias-primas convencionais não plásticas, verifica-se que o feldspato e o quartzo apresentaram massa acumulada para diâmetro médio equivalente abaixo 20 μm acima de 71%. Para a calcita verifica-se massa acumulada para diâmetro médio equivalente abaixo de 20 μm acima 95%. Existe uma diferença de granulometria acentuada entre a calcita e o quartzo e feldspato para um diâmetro médio equivalente abaixo de 20 μm , onde se tem calcita com 95% de massa acumulada e quartzo e feldspato com 72%. Estes resultados confirmam os valores obtidos na granulometria por peneiramento e sedimentação.

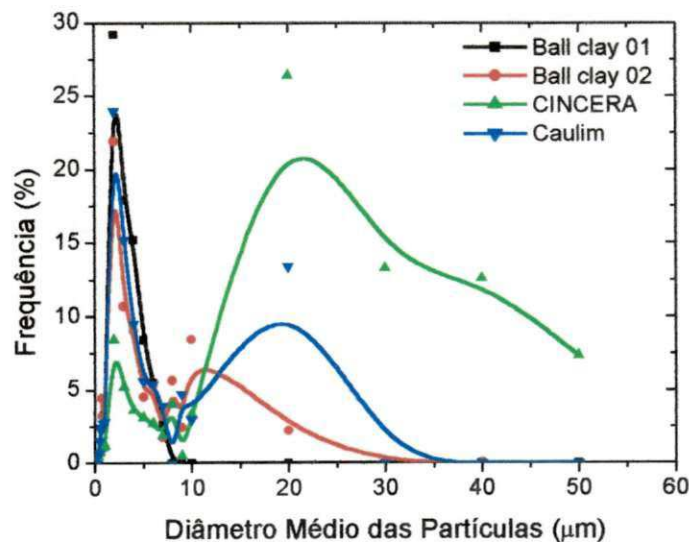


FIGURA 4.10 – Resultados da distribuição do tamanho de partículas em função da frequência das matérias-primas convencionais plásticas.

A Figura 4.12 apresenta a frequência da distribuição de tamanhos de partículas obtida pelo método de sedimentação através de absorção de luz óptica das matérias-primas convencionais não plásticas.

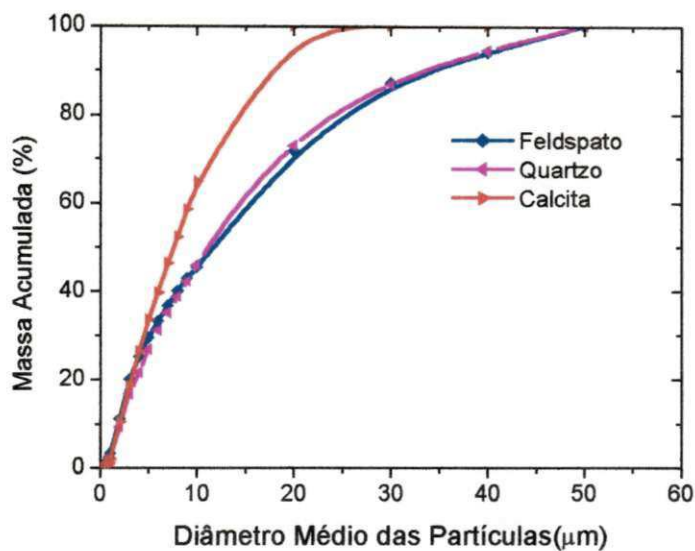


FIGURA 4.11 – Distribuição de tamanho de partículas das matérias-primas convencionais não plásticas.

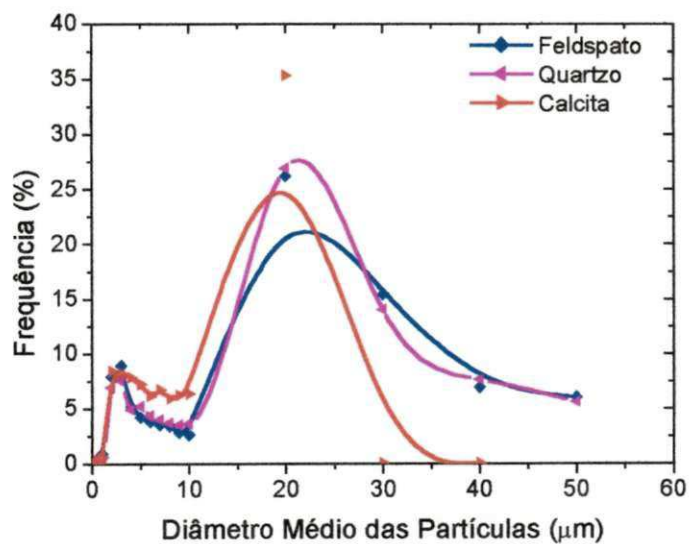


FIGURA 4.12 – Distribuição de tamanho de partículas em função da frequência das matérias-primas convencionais não plásticas.

Observando as curvas da Figura 4.12, verifica-se que o feldspato, quartzo e calcita apresentaram elevadas concentrações de diâmetro médio equivalente de partículas entre 10 e 30 μm para frequências entre 25% e 35%, estando dentro da faixa de valores das matérias-primas cerâmicas convencionais não plásticas determinada por SOUZA SANTOS (1992).

A Tabela 4.9 apresenta os resultados das áreas específicas das matérias-primas convencionais plásticas e não plásticas determinadas pelo método de sedimentação através de absorção de luz óptica e do BET.

TABELA 4.9 - Áreas específicas das matérias-primas convencionais.

Amostra	A.E (Sedimentação)	A.E (BET)
	m^2/g	m^2/g
Argila "Ball clay" 01	1,72	41,94
Argila "Ball clay" 02	2,00	23,73
Argila CINCERA	0,66	29,64
Caulim	0,60	8,55
Feldspato	0,50	2,41
Quartzo	0,44	1,33
Calcita	0,54	0,93
Ref. Ball clay (SOUZA SANTOS, 1992)	0,30-2,00	12,9-31,2
Ref. Caulim (FERREIRA, 1973)	0,43-0,70	4,26-10,4

Observando-se os resultados da Tabela 4.9, verifica-se que os valores das áreas específicas para as matérias-primas convencionais plásticas determinadas pelo método de sedimentação foram de: 1,72 m^2/g ("ball clay" 01), 2,00 m^2/g ("ball clay" 02), 0,60 m^2/g (caulim) e 0,66 m^2/g (argila CINCERA). Para as áreas específicas determinadas pelo método do BET os valores em ordem decrescente foram de: 41,94 m^2/g ("ball clay" 01), 29,64 m^2/g (argila CINCERA), 23,73 m^2/g ("ball clay" 02) e de 8,55 m^2/g (caulim). Para as matérias-primas convencionais não plásticas os valores de áreas específicas mais elevadas foram de 0,54 m^2/g para a calcita pelo método de sedimentação e de 2,41 m^2/g para o feldspato pelo método do BET.

Comparando esses resultados com os valores de área específica determinados por FERREIRA (1973) e SOUZA SANTOS (1992) para matérias-primas convencionais plásticas, verifica-se que a argila "ball clay" 01 apresentou

valores superiores, enquanto que a argila "ball clay" 02 e o caulim encontram-se dentro da faixa de valores das argilas "ball clays" e caulins brasileiros determinados pelos métodos do BET e granulométrico. Estes resultados confirmam os valores obtidos da distribuição granulométrica por peneiramento e sedimentação.

4.2.3 – Limites de Atterberg (LL,LP,IP)

A Tabela 4.10 apresenta os resultados dos limites de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade das matérias-primas convencionais plásticas.

TABELA 4.10 - Limites de liquidez, plasticidades e índices de plasticidades.

Amostra	LL(%)	LP(%)	IP(%)
"Ball-clay" 01	56,0	25,4	30,6
"Ball-clay" 02	53,0	22,3	30,7
CINCERA	52,6	28,7	23,9
Ref. Argila "Ball clay" (BARBA et al. 1997)	27,2-67,8	18,6-37,1	8,4-31,9
Ref. Argila Vermelha (VIEIRA et al. 2000)	20,0-70,5	11,28-31,0	5,0-39,0

Observando-se os resultados da Tabela 4.10, verifica-se que as argilas "ball clays" apresentaram valores de limites de liquidez superiores a 52,0%, (estando dentro da faixa de valores das argilas de São Simão determinadas por CALIL 1972); limites de plasticidades superiores a 22,3% estando dentro da faixa das argilas caulínicas utilizadas na indústria cerâmica determinadas por BARBA et al. (1997), e índices de plasticidades superiores 23,9%, sendo consideradas altamente plásticas por apresentarem $IP > 15\%$. A argila vermelha CINCERA apresentou limite de liquidez de 53%, estando dentro da faixa de valores das argilas vermelhas do estado da Paraíba determinadas por MACEDO (1996), limite de plasticidade de 28,7%, estando dentro da faixa de valores das massas utilizadas em cerâmica vermelha moldadas pelo processo de extrusão (LP de 15 a 30%) VIEIRA et al. (2000) e índice de plasticidade de 23,9%, considerada altamente plástica por apresentar $IP > 15\%$ (MACEDO, 1996).

4.2.4 – Análise Química (AQ)

Tabela 4.11, apresenta a composição química das matérias-primas convencionais plásticas e não plásticas.

TABELA 4.11- Composição química das matérias-primas convencionais.

Amostra	PF (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
"Ball clay" 01	12,20	49,34	6,87	20,50	3,50	traços	2,40	3,00
"Ball clay" 02	13,95	51,02	1,35	32,12	traços	0,73	traços	traços
CINCERA	7,09	54,79	8,78	22,29	traços	traços	1,35	2,42
Caulim	13,20	45,00	0,80	39,50	traços	traços	0,20	0,20
Feldspato	0,51	66,47	traços	22,40	traços	traços	2,70	6,66
Quartzo	0,34	96,76	traços	traços	traços	traços	0,67	0,60
Calcita	39,27	1,55	traços	traços	53,48	2,11	0,14	traços
Arg. São Simão	13,6	53,5	1,20	32,70	0,2	0,3	0,10	0,50
Arg. Paraíba	7,05	66,0	7,30	15,40	0,70	1,04	1,20	2,10
Caulins (Embú-Guaçú)	13,50	46,0	0,70	39,00	traços	traços	0,10	0,92

PF-Perda ao Fogo

Observando-se os valores da Tabela 4.11, verifica-se que argila "ball clay" 01 apresentou quantidade de Fe₂O₃ elevado (6,87%), perda ao rubro de 12,20%, teor de SiO₂ de 49,34% e teor de Al₂O₃ de 20,50%, estando fora da faixa de valores das argilas "ball clays" de Ribeirão Pires e São Simão, com teores de ferro inferiores a 3,0%. A argila "ball clay" 02 apresentou quantidade de Fe₂O₃ de 1,35%, teor de SiO₂ de 51,02% e teor de Al₂O₃ de 31,12%, estando dentro da faixa de valores das argilas de Ribeirão Pires e São Simão, com teor de ferro abaixo de 3,0% determinada por CARDOSO et al. (1998). A argila CINCERA apresentou teor de Fe₂O₃ elevado (8,78%), perda ao rubro de 7,09%, teor de SiO₂ de 54,70% e teor de Al₂O₃ de 22,29%, estando dentro da faixa de valores das argilas brasileira utilizadas em cerâmica vermelha, com teores de ferro superiores a 5,0% como verificado por SOUZA SANTOS (1992). O caulim apresentou quantidade de Fe₂O₃ de 0,80%, teor de SiO₂ de 45,00% e teor de Al₂O₃ de

39,50%, estando dentro da faixa de valores do caulim de Embú-Guaçú, com teor de ferro inferior a 1,0% determinada por CARDOSO et al. (1998). O feldspato apresentou perda ao rubro de 0,51%, teor SiO_2 de 66,47%, teor de Al_2O_3 de 22,40%, teor de Na_2O de 2,70% e 6,66% de K_2O , estando dentro da faixa de valores dos feldspatos de Minas Gerais, com teores de ferro inferiores (1,0%) determinados por SOUZA SANTOS (1992). O quartzo apresentou 0,34% de perda ao rubro e 96,76% de SiO_2 e a Calcita apresentou perda ao rubro de 39,27% e teor de CaO de 53,48, como já era esperado.

Com relação ao uso cerâmico, verifica-se que os teores de ferro (Fe_2O_3) superiores a 6% presente nas argilas "ball clay" 01 e CINCERA, após sinterização conduzem a colorações vermelhas; a argila "ball clay" 02 e o caulim apresentaram teores de ferro (Fe_2O_3) entre 0,80% e 1,35% ; o efeito do teor de ferro na cor após a queima na argila irá depender de como cátion ferro está distribuído, isto é, se está fora dos cristais da caulinita ou está na folha octaédrica desses cristais. O feldspato com teor de K_2O superior a 6,0% é considerado potássico e formará fase vítrea em temperaturas superiores à 1100°C ; o quartzo com teor de SiO_2 superior a 95% é típico.

4.2.5 – Análise Térmica (ATD, ATG)

As Figuras 4.13 e 4.14 apresentam as curvas das análises termodiferenciais e termogravimétricas das matérias-primas convencionais plásticas.

Analisando as curvas de ATD na Figura 4.13 das matérias-primas convencionais plásticas, verifica-se que as argilas "ball clay" 01 e "ball clay" 02 apresentaram picos endotérmicos de pequena intensidade a 110°C , o que caracteriza a presença de água livre; picos endotérmicos de média intensidade a 595°C , correspondente à perda desidroxilação e picos exotérmicos de pequena intensidade a 940°C , correspondente a nucleação de mullita. Para a argila CINCERA, observa-se pico endotérmico de pequena intensidade a 110°C , o que caracteriza a presença de água livre; pico endotérmico de pequena intensidade a 550°C , correspondente à perda desidroxilação e pequeno pico endotérmico à

820°C correspondente à decomposição do carbonato. Para o caulim, observa-se pico endotérmico de pequena intensidade a 110°C, correspondente à perda de água livre; pico endotérmico de grande intensidade a 610°C, correspondente à perda de hidroxilas e pico exotérmico de grande intensidade a 980°C, correspondentes a nucleação de mulita.

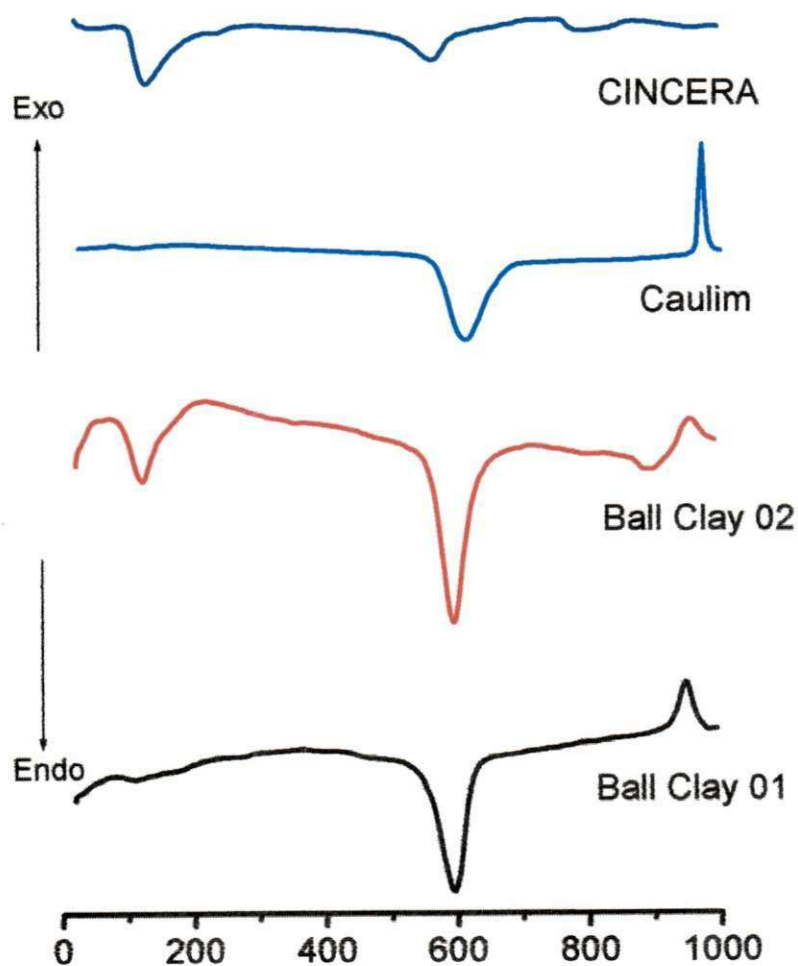


FIGURA 4.13 – Análises termodiferenciais das matérias-primas convencionais plásticas.

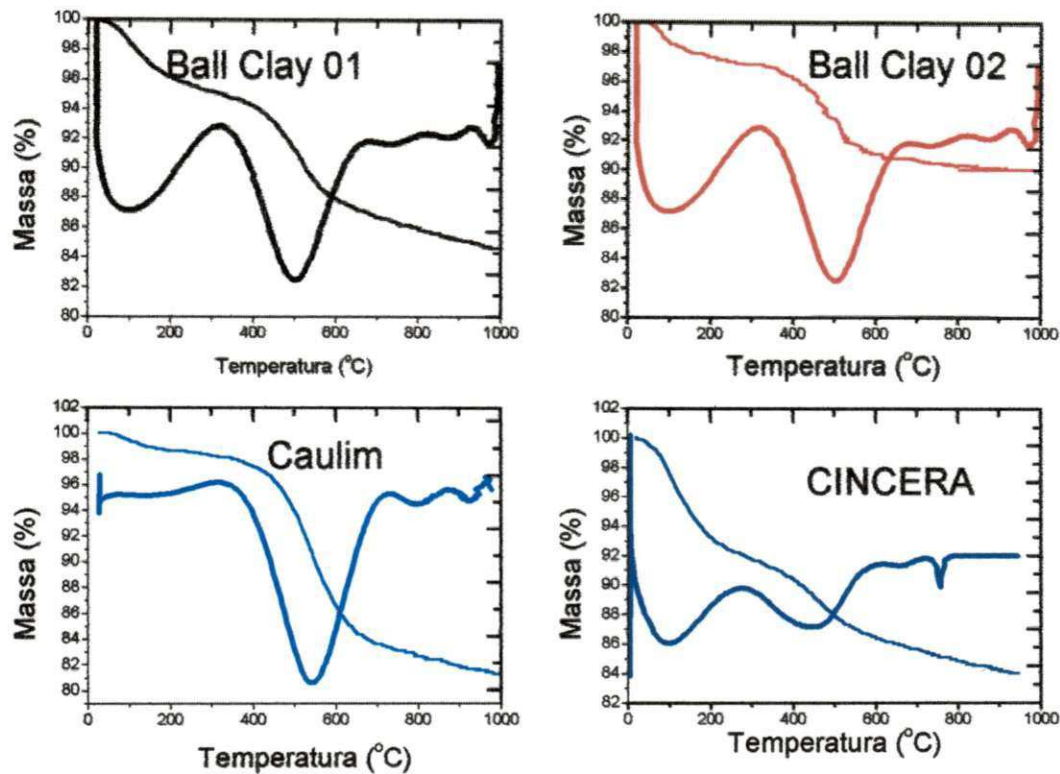


FIGURA 4.14 – Análise termogravimétrica das matérias-primas convencionais plásticas.

Analisando as curvas de ATG na Figura 4.14, verifica-se para a argila “ball clay” 01 perda de massa de 2,98% correspondente à água livre e adsorvida entre a temperatura ambiente e 280°C; perda de massa de 6,40% entre 280 e 683°C, correspondente à matéria orgânica e perda de massa referente as hidroxilas; perda de massa de 0,64% entre 683 e 823°C, oriunda da decomposição do carbonato. Para argila “ball clay” 02, verifica-se perda de massa de 4,86% correspondente à água livre e adsorvida entre a temperatura ambiente e 316°C; perda de massa de 8,15% entre 316 e 683°C, correspondente à matéria orgânica e perda de hidroxilas; perda de massa de 1,19% entre 683 e 823°C, oriunda da matéria orgânica na forma de grafite. Para o caulim, observa-se perda de massa de 16,37%, correspondente à perda de umidade e hidroxilas entre a temperatura ambiente e 695°C e perda de massa de 2,24% entre 685 e 957°C oriunda da

mica. Para a argila CINCERA, verifica-se perda de massa de 6,76% correspondente à água livre entre a temperatura ambiente e 201°C; perda de massa de 7,58% entre 201 e 683°C, correspondente à matéria orgânica e perda de hidroxilas; perda de massa de 1,09% entre 683 e 847°C, oriunda da matéria orgânica na forma de grafite. Comparando esses valores com os determinados por SOUZA SANTOS (1992) para as argilas brasileiras, verifica-se que as curvas termodiferenciais e termogravimétricas apresentaram semelhança às utilizadas em cerâmica branca e vermelha.

A Figura 4.15 apresenta as curvas das análises termodiferenciais das matérias-primas convencionais não plásticas.

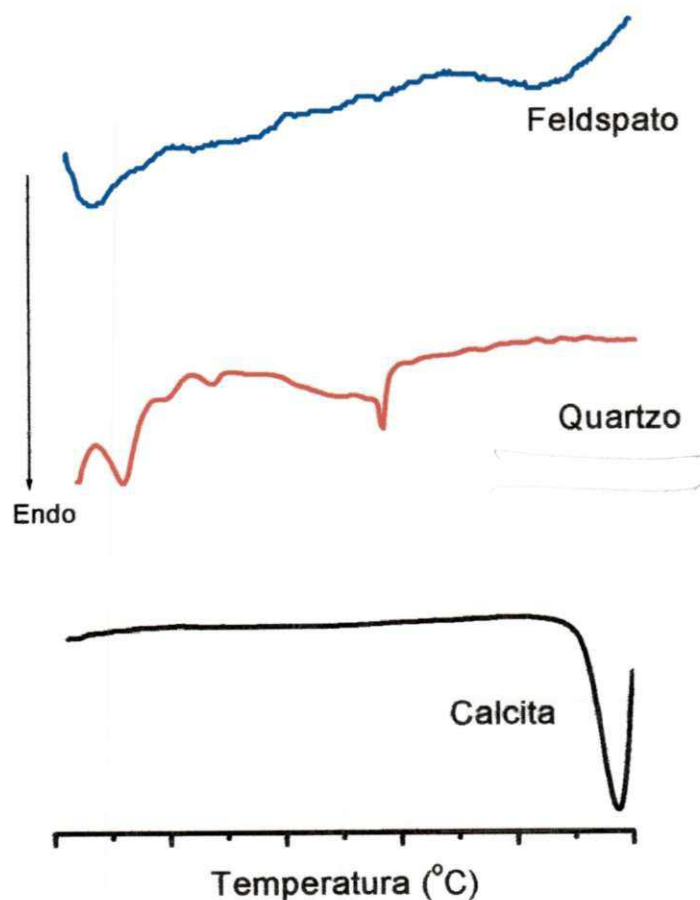


FIGURA 4.15 – Análises termodiferenciais das matérias-primas convencionais não plásticas.

Analisando as curvas de ATD da Figura 4.15 das matérias-primas convencionais não plásticas, verifica-se que o feldspato apresenta pico endotérmico a 110°C, correspondente à perda de água livre. O quartzo apresenta pico endotérmico de pequena intensidade a 110°C, correspondente perda de água livre; pico endotérmico de média intensidade a 580°C, correspondente à transformação do quartzo alfa em quartzo beta. A calcita apresenta pico endotérmico de grande intensidade a 946°C, correspondente à decomposição de carbonato.

4.2.6 – Difração de Raios-X (DRX)

A Figura 4.16 ilustra as difrações de raios-X das matérias-primas convencionais plásticas e não plásticas.

Observando as curvas das difrações de raios -X, contidas na Figura 4.16 para as matérias-primas convencionais plásticas e não plásticas, verifica-se que: para a argila "ball clay" 01, o difratograma mostra presença de caulinita caracterizada pelas distâncias interplanares de 7,07 e 3,56Å, quartzo, caracterizado por 4,22 e 3,32Å, e, em menor quantidade, de illita caracterizados por 10,04 e 4,97Å; calcita caracterizada por 3,02Å; para a argila "ball clay" 02, o difratograma mostra presença de caulinita caracterizada pelas distâncias interplanares de 7,07 e 3,56Å e quartzo, caracterizado por 4,22 e 3,32Å; para o caulim o difratograma mostra presença de caulinita caracterizada pelas distâncias interplanares de 7,07 e 3,56Å, e pequena quantidade de mica, caracterizada por 10,04 e 4,97Å; para a argila CINCERA o difratograma mostra presença de caulinita caracterizada pelas distancias interplanares de 7,07 e 3,56Å, quartzo, caracterizado por 4,22 e 3,32Å, e, menor quantidade de albita (feldspato sódico- $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), caracterizado por 3,70 e 3,19Å. Para as matérias-primas convencionais não plásticas, verifica-se que: para o feldspato, o difratograma mostra presença de microclina (feldspato potássico- KAlSi_3O_8) e albita (feldspato sódico- $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), caracterizados por 4,01 e 3,19Å e para quartzo, caracterizado por 4,42 e 3,36Å. Comparando estes resultados com os

difratogramas das argilas brasileiras e das matérias-primas não plásticas determinadas por SOUZA SANTOS (1992), verifica-se que são similares.

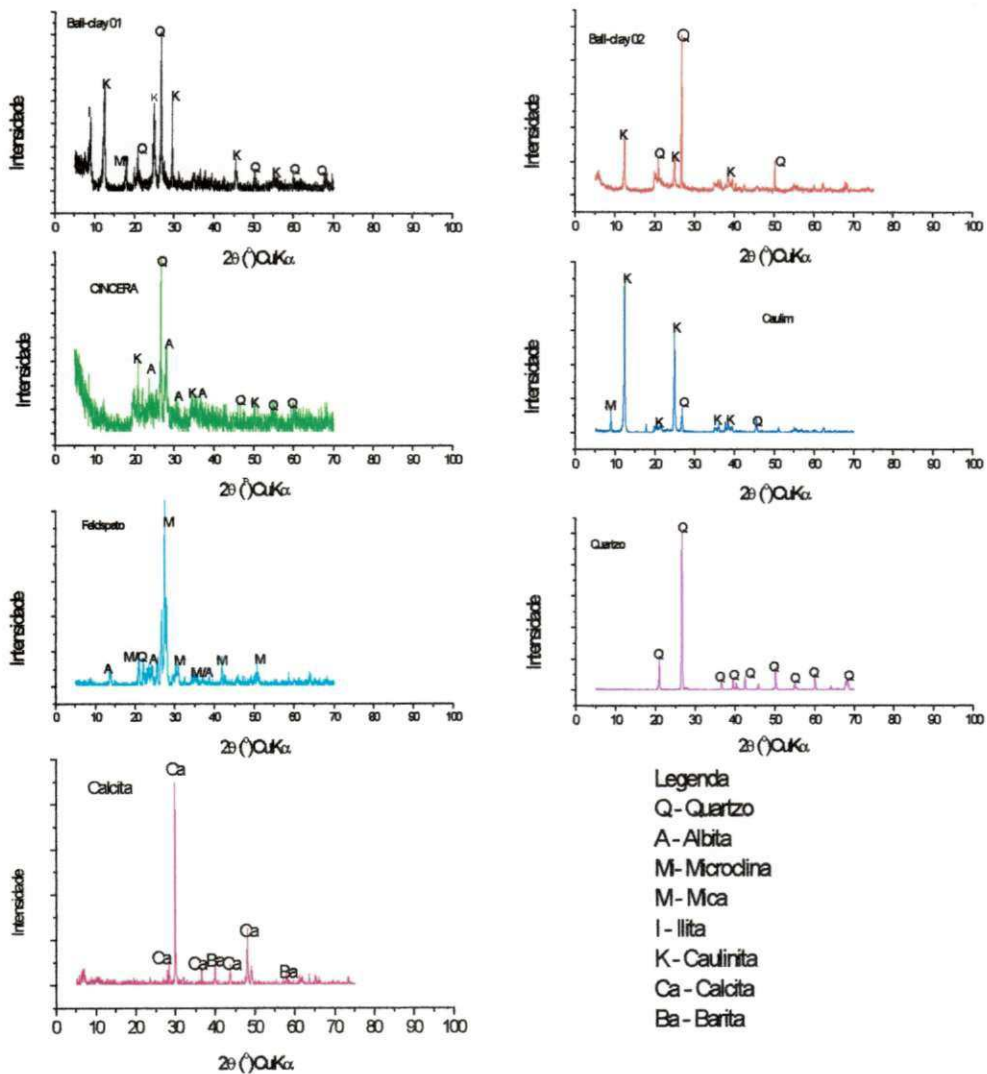


FIGURA 4.16 – Difração de raios-x das matérias-primas convencionais plásticas e não plásticas.

4.2.7 – Ponto de “Fusão”, Composição Mineralógica Calculada e Capacidade de Troca de Cátions (CTC)

A Tabela 4.12 apresenta o ponto de amolecimento ou o que seria o “ponto de fusão” ou “cone pirométrico” aproximado da amostra pela fórmula de Schaen, como também a composição mineralógica calculada de acordo com a sistemática de Ries citada por SOUZA SANTOS (1992) e a capacidade de troca de cátions (CTC) medida pelo Método do Azul de Metileno das matérias-primas convencionais plásticas.

Observando os valores contidos na Tabela 4.12, verifica-se que as argilas “ball clay” e o caulim apresentaram cones pirométricos aproximados entre C.O 34 e C.O 36 sendo consideradas refratárias sílico aluminosas.

TABELA 4.12 – Ponto de fusão, composição mineralógica calculada e Capacidade de troca de cátions.

Matéria-Prima	Ponto de Fusão* (°C)	Composição Mineralógica (%)**			
		Caulinita	Feldspato	Quartzo	CTC*** (mEq/100g)
“Ball clay” 01	1759	53,33	38,04	8,63	14,0
“Ball clay” 02	1807	86,88	0,00	13,12	13,3
Caulim	1777	80,31	2,87	16,82	3,2
CINCERA	1790	56,88	25,72	17,40	19,0

*Calculada pela Fórmula de Schaen ; **Calculada pela Fórmula Ries ;***CTC=Capacidade de Troca de Cátions, medida pelo Método do azul de Metileno.

Para a composição mineralógica, valor contido na Tabela 4.12, verifica-se que as argilas “ball-clay” 01 e CINCERA apresentaram diferenças significativas entre os teores de feldspato (Na_2O) e (K_2O) da argila “ballclay” 02 e caulim sendo os valores máximos de 38,04% (“ball-clay” 01) e 25,7% (CINCERA). As composições mineralógicas calculadas pela fórmula da Ries dão informação aproximada sobre os dois componentes “caulinita” e “feldspato”, os quais irão gerar as fases cerâmicas fundamentais para cerâmica branca que são mulita e cristobalita.

Em relação à capacidade de troca de cátions (CTC), valores contidos na Tabela 4.12, verifica-se que as argilas "ball clays" apresentaram CTC praticamente semelhantes (14,0 mEq/100g "ball clay" 01 e 13,3 mEq/100g "ball clay" 02) sendo maiores que a do caulim 3,2 mEq/100g, o que pode ser atribuído à presença, na matéria orgânica, dos ácidos úmico e/ou fúlvico. A argila CINCERA apresentou CTC típica de argila vermelha, sendo esse valor de 29,0 mEq/100g.

4.2.8 – Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET)

A Figura 4.17 apresenta as micrografias eletrônicas de transmissão das matérias-primas convencionais plásticas "ball clay", argila CINCERA e caulim.

Analisando as micrografias da Figura 4.17 verifica-se que argila "ball clay" 01 (Figura 4.17a) apresenta partículas lamelares de perfil hexagonal regular e algumas vezes irregular de caulinita. As partículas apresentam elevada transparência aos elétrons com dimensões variando em uma faixa ampla de valores de 0,05 μ m a 0,86 μ m. Observa-se também um aglomerado de partículas de pequenas dimensões não identificadas. Aumento final 70000 X. A argila "ball clay" 02 (Figura 4.17b), apresenta semelhança à "ball clay" 01 é constituída de partículas lamelares de perfil hexagonal regular e às vezes irregular de caulinita, com empilhamentos transparentes aos elétrons e um pequeno número de partículas dispersas com dimensões variando em uma faixa ampla de valores de 0,03 μ m a 0,85 μ m. Aumento final 70000 X. A argila CINCERA (Figura 4.17c), é constituída de empilhamentos de partículas lamelares de perfil irregular transparentes aos elétrons, com grande número de partículas dispersas e com dimensões variando em uma faixa ampla de valores de 0,01 μ m a 0,21 μ m. Aumento final 70000 X. O caulim (Figura 4.17d) apresenta partículas lamelares de perfil hexagonal de caulinita, com empilhamentos de elevada transparência aos elétrons e grandes dimensões variando na faixa de 0,07 μ m a 0,80 μ m que evidencia uma granulometria típica de um caulim primário. Aumento final 70000 X.

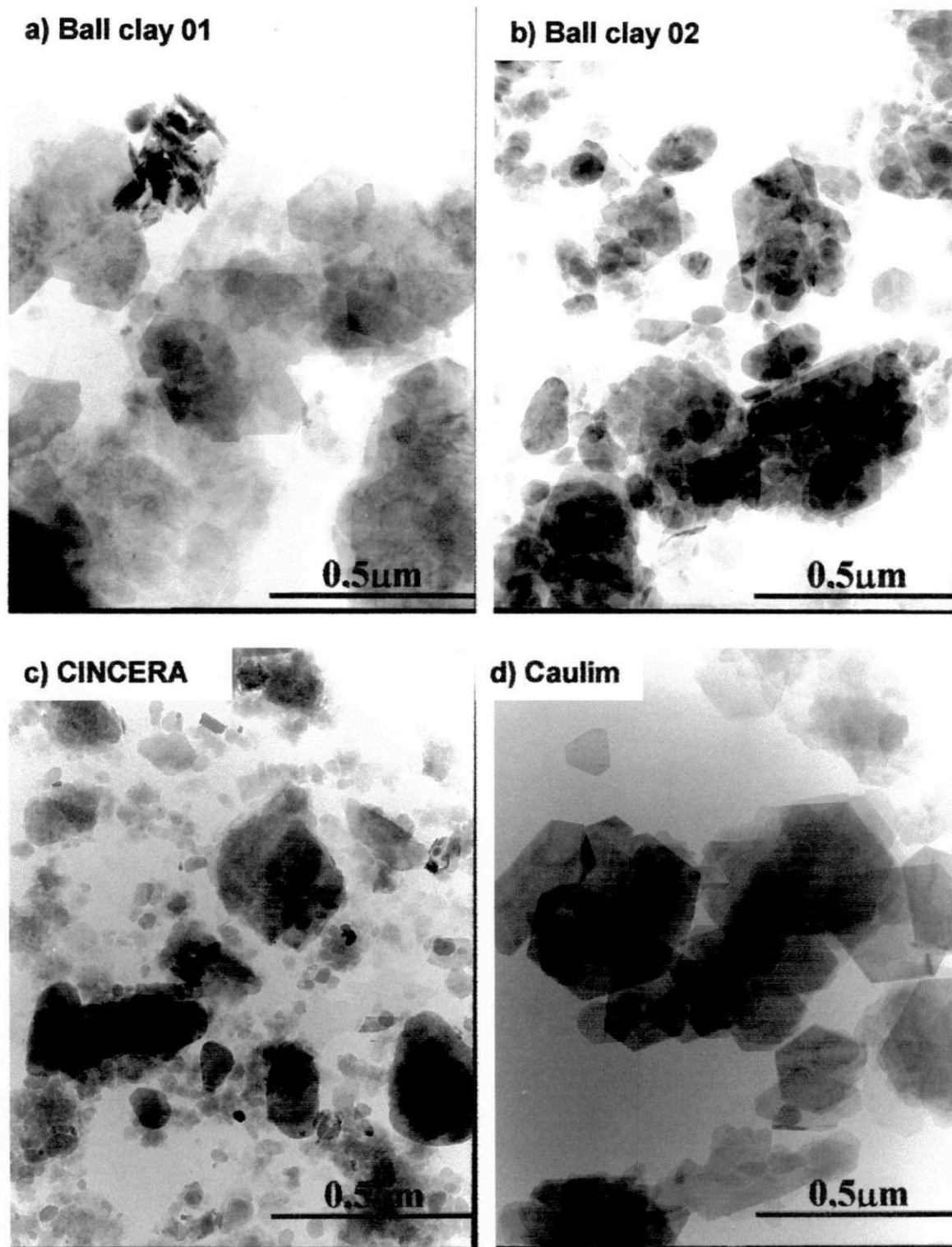


FIGURA 4.17 – Microscopia eletrônica de transmissão (MET) das matérias-primas convencionais plásticas.

4.3 - Caracterização Ambiental

As Tabelas 4.13 e 4.14 apresentam os resultados dos ensaios de solubilização e lixiviação dos resíduos estudados de acordo com as normas da ABNT NBR 10004, NBR 10005 e NBR 10006 (1987).

A Tabela 4.13 apresenta os resultados dos ensaios de solubilização dos resíduos estudados.

TABELA 4.13 – Solubilização dos resíduos estudados.

Elemento Químico	Solubilização (mg/l)					Dados da Literatura (SILVA, 1998)	Limite Máximo Norma ABNT NBR-10004 (mg/l)
	R-01	R-02	R-03	R-04	R-05		
Ag	0,124	0,050	0,055	0,140	0,070	<0,010	0,050
Cd	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005
Cr	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,020	0,050
Pb	0,630	<0,010	0,150	2,270	0,230	<0,050	0,050
Al	1,500	0,090	1,700	3,050	2,990	3,000	0,200
Cu	<0,010	0,090	0,100	<0,010	<0,040	<0,010	1,000
Fe	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	<0,020	0,300
Mn	<0,010	<0,010	0,024	0,020	<0,010	<0,010	0,100
Na	93,000	19,500	126,500	8,250	24,000	97,00	200,000
Zn	0,005	0,014	0,017	0,005	0,005	<0,010	5,000
Cloretos	255,600	113,600	184,600	28,400	35,500	35,000	250,000
Dureza	60,000	34,000	32,400	21,400	19,000	55,200	500,000
SO₄	272,000	65,000	232,000	48,000	44,000	<10,000	400,000

Observando os valores contidos na Tabela 4.13 verifica-se que os resíduos R-01, R-03, R-04 e R-05 apresentaram concentrações de Al, Ag e Pb superiores ao limite máximo especificado (Al-0,200 mg/l) e (Ag e Pb-0,50mg/l) pela a norma da ABNT NBR 10004 (1987), sendo os valores de concentração máxima de 3,500mg/l (Al), 0,140mg/l (Ag) e de 2,270mg/l (Pb) para o resíduo R-04. Esses resultados foram superiores aos valores dos resíduos da serragem de granito do Estado do Espírito Santo determinado por SILVA (1998). Para o resíduo R-02 todos os valores foram inferiores ao limite máximo especificado pela a norma da ABNT NBR 10004(1987). Comparando esses resultados com os valores limites especificados no Anexo H-listagem nº 8 da Norma NBR 10004 (1987), verifica-se que os resíduos estudados apresentaram as seguintes classificações: os resíduos R-01, R-03, R-04 e R-05 como sendo Classe II - não inerte e o R-02 como sendo Classe III - inerte.

A Tabela 4.14 apresenta os resultados dos ensaios de lixiviação dos resíduos estudados.

Observando os valores contidos na Tabela 4.14 verifica-se que os resíduos estudados apresentaram no processo de lixiviação valores de concentrações de seus constituintes inferiores ao limites máximos especificados no Anexo G-listagem nº 7 da Norma NBR 10004 (1987), sendo todas as amostras consideradas como não tóxicas.

Comparando esses resultados com os valores dos resíduos da serragem de granito do Estado do Espírito Santo determinado por SILVA (1998) verifica-se que são superiores. Em relação ao pH determinado no extrato lixiviado, verifica-se que os resíduos estudados apresentaram variação no estado inicial para o estado final, no intervalo $5 < \text{pH} < 12,5$, caracterizando como sendo não corrosivo. Entretanto deve-se salientar que os resíduos comportaram-se de modo estável, durante o tempo que estiveram armazenados no laboratório, não apresentando quaisquer reações violentas ou imediatas, não gerando gases, vapores ou quaisquer produtos desta natureza, por não apresentar em sua constituição ânions, cianetos ou sulfetos, não sendo portanto responsáveis por reações ou decomposições detonantes.

TABELA 4.14 – Lixiviação dos resíduos estudados.

Elemento Químico	Lixiviação (mg/l)					Dados da Literatura (SILVA, 1998)	Limite Máximo Norma ABNT NBR-10004 (mg/l)
	R-01	R-02	R-03	R-04	R-05		
Ag	0,010	0,158	0,075	0,072	<0,010	<0,01	5,0
Cd	0,010	0,032	<0,010	0,013	0,047	0,01	0,5
Cr	0,260	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,03	5,0
Pb	1,190	2,200	5,007	1,360	2,120	<0,05	5,0
Al	1,400	0,100	2,950	2,820	3,00	NE	NE
Cu	0,140	4,670	0,190	0,010	0,130	NE	NE
Fe	0,160	2,090	35,660	8,090	2,840	NE	NE
Zn	0,076	0,170	0,004	0,026	0,032	NE	NE
Mn	3,840	0,620	18,950	14,280	10,460	NE	NE
Na	62,000	30,000	34,500	31,250	59,000	NE	NE
SO⁴	220,000	48,000	62,000	46,000	42,000	NE	NE
Cloreto	95,850	78,100	113,600	35,500	49,700	NE	NE
Dureza	943,000	40,000	519,000	389,000	1248,000	NE	NE
Condições de Lixiviação							
pH Inicial	8,0	9,0	8,0	8,0	9,4	10,1	NE
pH Final	5,0	5,0	5,0	5,0	5,5	6,4	
Vol. Ácido (ml)	293	75	258	172	400	120	
Tempo (h)	28	28	28	28	28	28	

NE- Não Especificados

4.4 - Conclusões Parciais

Analisando conjuntamente os resultados podemos concluir que:

4.4.1- Matérias-primas alternativas

4.4.1.1- Resíduos R- 01, R- 03, R- 04 e R - 05

- a) os resíduos estudados apresentaram composição granulométrica com mais de 80% em massa acumulada de partículas com diâmetro médio equivalente abaixo de $70\mu\text{m}$;
- b) os resíduos estudados apresentaram maior concentração de partículas com diâmetro médio equivalente entre $20\mu\text{m}$ e $30\mu\text{m}$;
- c) os resíduos estudados apresentaram áreas específicas(BET) entre $5,00\text{m}^2/\text{g}$ e $11,0\text{m}^2/\text{g}$, sendo esses valores superiores aos das matérias-primas convencionais não plásticas (quartzo e feldspato);
- d) os resíduos estudados apresentaram partículas com morfologia irregular e superfície arredondada, enquanto outras fases presentes apresentaram partículas com cantos angulosos com diâmetro equivalente variando entre $1,42\mu\text{m}$ a $12,50\mu\text{m}$;
- e) os resíduos estudados apresentaram na sua composição química teores de ferro superiores a 5%, sendo indicativo de cores escuras ou avermelhadas após queima;
- f) os resíduos estudados apresentaram teores de Na_2O , K_2O , CaO e Fe_2O_3 que são compostos fundentes, acima de 15%;
- g) os resíduos estudados apresentaram na sua composição química (EDS) elevadas concentrações de Si, Al, Fe, Ca, K e pouca evidência de Mg;
- h) os resíduos estudados apresentaram em sua composição mineralógica as fases de quartzo, feldspatos potássicos e sódicos, mica, calcita e hematita;
- i) os resíduos estudados apresentaram classificação ambiental, através das normas da ABNT NBR 10004, NBR 10005 e NBR 10006, como sendo Classe II – não inerte e não tóxico.

4.4.1.2 – Resíduo R- 02

- a) o resíduo estudado apresentou composição granulométrica com mais de 80% de massa acumulada de partículas com diâmetro médio equivalente abaixo de $70\mu\text{m}$;
- b) o resíduo estudado apresentou maior concentração de partículas com diâmetro médio equivalente entre $20\mu\text{m}$ e $30\mu\text{m}$;
- c) o resíduo estudado apresentou área específica(BET) de $6,90\text{m}^2/\text{g}$ sendo esse valor superior aos das matérias-primas convencionais não plásticas (quartzo e feldspato);
- d) os resíduos estudados apresentaram partículas com morfologia irregular e superfície arredondada, enquanto outras fases presentes apresentaram partículas com cantos angulosos com diâmetro equivalente variando entre $0,80\mu\text{m}$ a $11,42\mu\text{m}$;
- e) o resíduo estudado não apresentou ferro na sua composição química, sendo indicativo de cor clara após queima;
- f) o resíduo estudado apresentou na sua composição química (EDS) elevada concentração de Si e pouca evidência de Al;
- g) o resíduo estudado apresentou na sua composição mineralógica as fases de quartzo e caulinita;
- h) o resíduo estudado apresentou classificação ambiental, através das normas da ABNT NBR 10004, NBR 10005 e NBR 10006, como sendo Classe III – inerte e não tóxico.

4.4.2- Matérias-primas convencionais

- a) as argilas “ball clay” 01, “ball clay” 02, CINCERA e caulim apresentaram composição granulométrica com mais de 40% de massa acumulada de partículas com diâmetro médio equivalente abaixo de $2\mu\text{m}$;
- b) as argilas “ball clay” 01, “ball clay” 02 e CINCERA apresentaram áreas específicas(BET) entre $23,73\text{ m}^2/\text{g}$ e $41,94\text{ m}^2/\text{g}$, sendo esses valores similares aos das argilas utilizadas como matérias-primas cerâmicas;

-
- c) as argilas “ball clay” 01 e CINCERA apresentaram na sua composição química teores de ferro superiores a 5%, sendo indicativo de cores escuras ou avermelhadas após queima;
- d) a argila “ball clay” 02 e o caulim apresentaram teores de ferro inferiores a 1%, sendo indicativo de cores claras após queima;
- e) as argilas “ball clay” 01, “ball clay” 02, CINCERA e caulim apresentaram em sua composição mineralógica as fases caulinita, quartzo, feldspato, mica e ilita;
- f) o quartzo, feldspato e calcita apresentaram na sua composição mineralógica as fases de quartzo, feldspato potássico, calcita e carbonato de bário, sendo típicas para uso como matérias-primas cerâmicas.

CAPÍTULO V

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CERÂMICA VERMELHA

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos nos ensaios das massas aditivadas com resíduos oriundos da serragem de granitos para utilização em cerâmica vermelha na produção de blocos e telhas. A realização desta fase do trabalho incluiu quatro etapas. Na primeira etapa foram realizados os Índices de Atterberg, incluindo a determinação dos limites de liquidez e de plasticidade e índices de plasticidade das massas. Na segunda etapa foram realizadas classificações preliminares incluindo a determinação das cores de queima e das propriedades físico-mecânicas para diversas temperaturas. Na terceira etapa foram realizados ensaios completos com moldagem por extrusão e na quarta e última etapa foram realizados ensaios em escala piloto de acordo com as normas da ABNT.

5.1- Limites Atterberg das Massas Incorporadas com Resíduo

As Tabelas 5.1, 5.2.e 5.3 e a Figura 5.1 apresentam os resultados dos limites de liquidez, plasticidade e índices de plasticidade das massas estudadas.

A Tabela 5.1 e a Figura 5.1 apresentam os resultados dos limites liquidez das massas estudadas.

Observando-se os resultados contidos na Tabela 5.1 e na Figura 5.1, verifica-se que os valores de limites de liquidez das massas estudadas variaram de 34,6% (massas incorporadas com 60% de resíduo R-05) a 54% (massas incorporadas com 20% de resíduo R-04). Comparando esses resultados com os determinados por SOUZA SANTOS (1992), MACÊDO (1996), CAMPOS et al. (1999) e VIEIRA et al. (2000), para as massas utilizadas em cerâmica vermelha, observa-se que estão dentro das faixas de valores (30 e 60%).

TABELA 5.1- Limites de liquidez das massas estudadas (%).

Resíduos	(% de Resíduo)								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R-01	45,0	43,0	40,0	39,5	39,0	37,8	36,5	35,5	34,6
R-02	53,0	52,0	50,0	45,0	46,0	44,0	40,0	40,0	38,0
R-03	52,0	50,0	49,0	49,0	39,0	43,0	36,0	41,0	36,0
R-04	54,0	53,0	51,0	48,0	44,0	43,0	41,0	36,0	37,0
R-05	51,0	49,0	48,0	47,0	44,0	41,0	39,0	36,0	35,0
Dados da Literatura: MACÊDO (1996), CAMPOS et al. (1999) e VIEIRA et al., (2000).					30-60				

A Tabela 5.2 e a Figura 5.1 apresentam os resultados dos limites de plasticidade das massas estudadas.

TABELA 5.2- Limites de plasticidades das massas estudadas (%).

Resíduos	(% de Resíduo)								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R-01	24,2	23,0	22,4	23,0	24,0	23,4	23,2	22,8	22,5
R-02	26,0	27,0	25,8	24,0	25,0	23,0	25,0	24,0	23,0
R-03	26,5	26,2	25,0	25,0	20,0	27,0	20,0	26,0	21,0
R-04	27,5	27,2	27,0	25,0	24,0	23,0	23,0	20,0	20,0
R-05	26,2	26,0	25,5	22,5	25,0	24,0	23,0	20,0	20,0
Dados da Literatura: MACÊDO (1996), CAMPOS et al. (1999) e VIEIRA et al., (2000).					15-30				

Observando-se os resultados contidos na Tabela 5.2 e na Figura 5.1, verifica-se que os valores dos limites de plasticidade para as massas estudadas variaram de 20% (massas incorporadas com 40% e 50% de resíduo R-03 e 55%, 60% de resíduos R-04 e R-05) a 27,5% (massas incorporadas com 20% de resíduo R-04). Comparando esses valores com os determinados por SOUZA SANTOS (1992); MACÊDO (1996), CAMPOS et al. (1999) e VIEIRA et al. (2000), para as massas utilizadas em cerâmica vermelha moldadas pelo processo de extrusão observa-se que são apropriados (15-30%).

A Tabela 5.3 e a Figura 5.1 apresentam os resultados dos índices de plasticidade das massas estudadas.

TABELA 5.3 - Índices de plasticidade das massas estudadas (%).

Resíduos	(% de Resíduo)								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R-01	20,8	20,0	18,9	16,5	15,4	15,5	12,9	12,7	12,4
R-02	27,0	25,0	25,0	21,0	21,0	21,0	15,0	16,0	15,0
R-03	25,5	23,8	24,0	24,0	19,0	18,0	16,0	15,0	14,0
R-04	26,5	25,8	24,0	23,0	20,0	20,0	18,0	16,0	17,0
R-05	24,8	23,0	24,5	22,0	19,0	17,0	16,0	16,0	15,0
Dados da Literatura: MACÊDO (1996), CAMPOS et al. (1999) e VIEIRA et al., (2000).						10-30			

Observando-se os resultados contidos na Tabela 5.3 e na Figura 5.1, verifica-se que os valores dos índices de plasticidade para as massas estudadas variaram de 12,4% (massa incorporada com 60% de resíduo R-01) a 27,0% (massa incorporada com 20% de resíduo R-02). Analisando conjuntamente os resultados, verifica-se que todas as massas são consideradas altamente plásticas ($IP > 15\%$), com exceção das massas incorporadas com 50%, 55% e 60% de resíduo R-01 e 60% de resíduo R-03 que são medianamente plásticas ($7\% < IP < 15\%$). Comparando esses valores com os determinados por SOUZA SANTOS (1992); MACÊDO (1996), CAMPOS et al. (1999) e VIEIRA et al. (2000), para as massas utilizadas em cerâmica vermelha moldadas pelo processo de extrusão observa-se que são apropriados (15-30%), com exceção das massas incorporadas com 50, 55, e 60% de resíduo R-01 e 60% de resíduo R-03.

5.2 - Ensaios Preliminares das Massas Incorporadas com Resíduos

As Tabelas 5.4 a 5.9 e a Figura 5.2 apresentam os resultados preliminares após secagem a 110°C e sinterização nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C dos corpos cerâmicos 6,0 cm x 2,0 cm x 0,5 cm da argila vermelha CINCERA e das massas incorporadas com resíduos moldados por prensagem.

A Tabela 5.4 apresenta os resultados preliminares das cores dos corpos cerâmicos estudados após secagem a 110°C e sinterização nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C.

Observando os resultados contidos na Tabela 5.4, verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram cores cinzas após secagem a 110°C e de laranja à vermelha após sinterização nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C. A coloração vermelha nos corpos cerâmicos após sinterização deve-se ao teor de ferro (Fe_2O_3) superior a 5%, como pode ser observado nos valores contidos nas Tabelas 4.4 e 4.11. Comparando-se com os padrões de cores das argilas brasileiras (SOUZA SANTOS, 1992), podemos concluir que todas as amostras estudadas têm uso em cerâmica vermelha.

A Tabela 5.5 apresenta os resultados preliminares das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após secagem a 110°C.

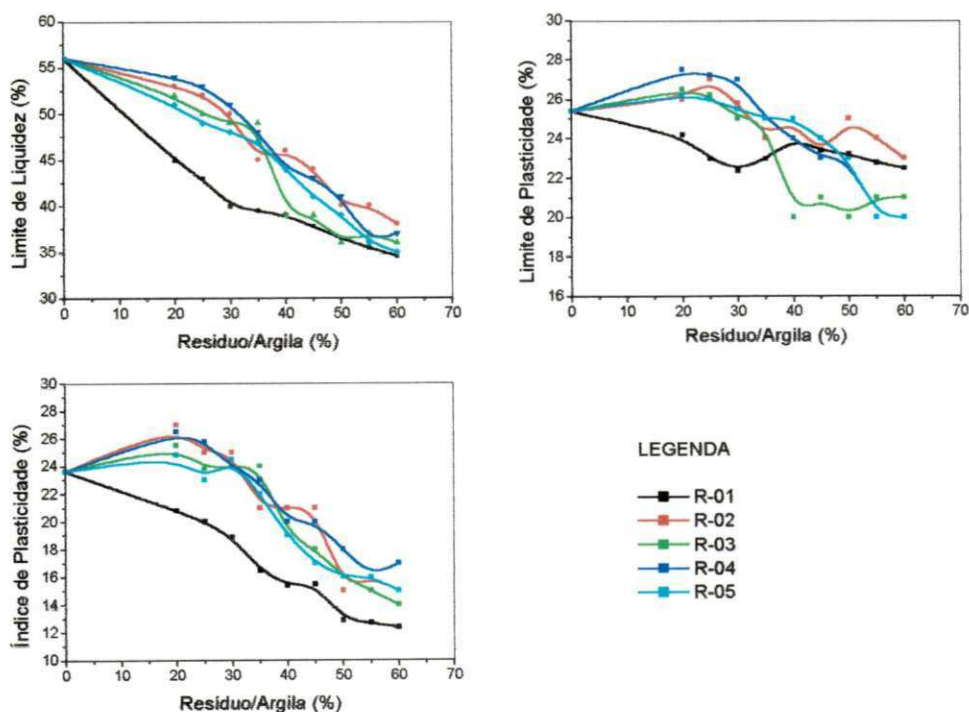


Figura 5.1 – Limites de liquidez, plasticidade e índices de plasticidade das massas incorporadas com resíduos.

TABELA 5.4 – Cores dos corpos cerâmicos após secagem a 110°C e sinterização nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C.

Temperaturas (°C)	Resíduo (%)	Amostras				
		R 01	R 02	R 03	R 04	R 05
110	20	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
	25	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
	30	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
	35	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
	40	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
	45	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
	50	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
	55	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
	60	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
800	20	Laranja	Laranja	Laranja	Laranja	Vermelha
	25	Laranja	Laranja	Laranja	Laranja	Vermelha
	30	Laranja	Laranja	Laranja	Laranja	Vermelha
	35	Laranja	Laranja	Laranja	Laranja	Vermelha
	40	Laranja	Laranja	Laranja	Laranja	Vermelha
	45	Laranja	Laranja	Laranja	Laranja	Vermelha
	50	Laranja	Laranja	Laranja	Laranja	Vermelha
	55	Laranja	Laranja	Laranja	Laranja	Vermelha
	60	Laranja	Laranja	Laranja	Laranja	Vermelha
900	20	Laranja	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
	25	Laranja	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
	30	Laranja	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
	35	Laranja	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
	40	Laranja	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
	45	Laranja	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
	50	Laranja	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
	55	Laranja	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Laranja
	60	Laranja	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Laranja
1000	20	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
	25	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
	30	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
	35	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
	40	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
	45	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
	50	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
	55	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
	60	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha

TABELA 5.5- Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após secagem a 110° C.

Amostra	Resíduo (%)	Umidade Prensagem (%)	RL (%)	TRF (MPa)	D.Padrão (MPa)	
CINCERA	0	13,00	1,50	7,50	± 0,10	
R-01	20	14,30	1,20	5,50	± 0,80	
	25	13,50	1,10	5,10	± 0,99	
	30	13,75	0,55	4,51	± 0,65	
	35	13,85	0,55	3,04	± 0,56	
	40	14,57	0,57	2,66	± 0,55	
	45	12,16	0,55	2,57	± 0,76	
	50	12,38	0,55	2,10	± 1,00	
	55	10,79	0,55	1,50	± 0,96	
R-02	60	9,35	0,60	1,41	± 0,54	
	20	13,75	1,10	5,60	± 0,99	
	25	13,30	1,09	5,00	± 0,98	
	30	12,12	0,55	4,52	± 0,68	
	35	13,79	1,00	3,14	± 0,74	
	40	14,63	0,57	3,06	± 1,88	
	45	15,23	0,56	2,94	± 0,98	
	50	14,86	0,56	2,57	± 0,57	
R-03	55	12,92	0,60	1,93	± 0,96	
	60	12,03	0,60	1,40	± 0,57	
	20	13,50	1,05	5,30	± 0,67	
	25	12,50	0,80	4,87	± 0,86	
	30	13,72	1,00	4,17	± 0,76	
	35	13,95	0,55	3,19	± 0,58	
	40	13,09	0,56	2,62	± 0,58	
	45	13,77	0,55	2,30	± 0,72	
R-04	50	12,00	0,57	2,19	± 0,59	
	55	12,50	0,55	1,57	± 0,78	
	60	10,07	1,05	1,30	± 0,41	
	20	13,20	1,07	5,40	± 0,84	
	25	12,40	0,72	4,70	± 0,92	
	30	13,33	1,00	3,38	± 0,44	
	35	12,65	1,00	2,53	± 0,70	
	40	16,07	0,51	1,98	± 0,72	
R-05	45	8,39	1,00	1,68	± 0,80	
	50	10,79	1,00	1,93	± 0,76	
	55	10,20	0,50	1,51	± 0,79	
	60	11,27	1,00	1,01	± 0,97	
	20	12,50	1,16	5,20	± 0,99	
	25	12,20	0,65	4,60	± 1,01	
	30	13,20	0,57	3,94	± 0,70	
	35	12,92	0,59	3,35	± 0,60	
R-05	40	13,26	0,58	3,02	± 0,71	
	45	13,26	0,57	3,00	± 0,67	
	50	11,17	0,56	2,65	± 0,68	
	55	11,32	0,56	1,59	± 0,52	
	60	11,43	1,00	1,56	± 0,90	
	Especificação (SOUZA SANTOS,1992)		5 a 30	NE	>0,45	NE

RL- Retração linear de secagem; TRF- Tensão de ruptura à Flexão; NE- Não Especificado.

Observando os resultados contidos na Tabela 5.5 para os corpos cerâmicos estudados, verifica-se que:

➤ **Umidade de prensagem** – Para umidade de prensagem os valores variaram de 8,39% (massa incorporada com 45% de R-04) a 16,07% (massa incorporada com 40% de R-04). Comparando-se os resultados obtidos com a faixa de valores especificada por SOUZA SANTOS (1992) para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha após secagem, observa-se que todas as amostras estão dentro das faixas limites (5 a 30%).

Retração linear – Para retração linear os valores variaram de 0,5% (massa incorporada com 55% de resíduo R-04) a 1,20% (massa incorporada com 20% de resíduo R-01). Segundo SANTOS et al (1995) é desejável que estes valores não ultrapassem 6%.

Tensão de ruptura à flexão – Para tensão de ruptura à flexão os valores variaram de 1,01 MPa (massa incorporada com 60% de R-04) à 5.60 MPa (massa incorporada com 20% de R-02). Comparando-se os resultados obtidos com os valores especificados por SOUZA SANTOS (1992) para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha após secagem, observa-se que os valores de todas as amostras foram superiores ao especificado (mínimo 0,45 MPa).

A Tabela 5.6 e a Figura 5.2 apresentam os valores preliminares das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após sinterização na temperatura 800°C.

Observando os resultados contidos na Tabela 5.6 e na Figura 5.2, verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores máximos de absorção de água de 29,51% (massa incorporada com 60% de R-05); porosidade aparente de 42,31% (massa incorporada com 60% de R-05); massa específica aparente de 2,37 g/cm³ (massa incorporada com 60% de R-04), retração linear de 1,60% (massa incorporada com 20% de R-02) e tensão de ruptura à flexão mínima de 0,59MPa (massa incorporada com 60% de R-05). O aumento na absorção de água e decréscimo na resistência mecânica pode ser justificado pelo fato de que adição de resíduos diminui a quantidade de material argiloso na formulação, e por conseguinte aumento da quantidade de SiO₂ e Al₂O₃ na massa.

TABELA 5.6 - Propriedades físico-mecânicas preliminares dos corpos cerâmicos com resíduos após queima na temperatura de 800°C.

Amostra	Resíduo (%)	Propriedades Físico-mecânicas					
		AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	RQ (%)	TRF (MPa)	D.Padrão (MPa)
CINCERA	0	11,20	23,07	2,06	1,00	11,16	± 0,60
R-01	20	12,00	24,20	2,01	1,50	6,80	± 0,67
	25	11,20	24,40	2,17	0,90	5,90	± 0,98
	30	12,03	25,96	2,15	0,30	5,34	± 0,60
	35	12,43	27,50	2,21	0,50	5,00	± 0,58
	40	12,66	28,46	2,24	0,50	3,24	± 0,81
	45	12,75	28,82	2,21	0,50	3,04	± 0,10
	50	13,43	22,83	1,70	0,50	2,93	± 0,98
	55	13,73	23,64	1,73	0,60	2,60	± 0,10
	60	13,96	24,90	1,78	0,60	2,14	± 0,87
R-02	20	16,20	30,78	1,90	1,60	5,90	± 0,50
	25	16,60	32,37	1,95	1,40	5,60	± 0,36
	30	16,70	30,28	1,81	0,50	5,00	± 0,56
	35	17,91	30,63	1,71	0,50	2,96	± 0,52
	40	18,41	36,08	1,96	0,50	2,46	± 0,55
	45	19,67	35,20	1,79	0,50	2,76	± 0,87
	50	20,23	34,04	1,64	0,50	2,48	± 0,95
	55	21,28	36,17	1,70	0,50	1,71	± 0,98
R-03	20	12,30	23,20	1,88	1,20	6,20	± 0,98
	25	11,50	24,60	2,14	0,90	5,80	± 1,02
	30	11,95	25,70	2,15	0,50	5,41	± 1,09
	35	12,27	26,90	2,19	0,50	4,44	± 1,15
	40	12,50	27,82	2,22	0,50	3,88	± 0,58
	45	12,55	27,99	2,23	0,50	3,24	± 0,92
	50	13,16	20,70	1,57	0,50	2,87	± 0,57
	55	13,53	22,56	1,67	0,50	2,64	± 0,10
R-04	20	10,60	20,20	1,90	0,98	13,80	± 0,90
	25	10,61	21,60	2,03	0,70	13,60	± 0,86
	30	10,97	22,50	2,05	0,40	13,11	± 1,15
	35	11,54	24,25	2,10	0,50	5,00	± 0,58
	40	11,90	25,50	2,14	0,50	4,46	± 0,58
	45	12,86	29,32	2,27	0,50	3,46	± 0,58
	50	13,40	28,88	2,15	0,50	2,20	± 0,29
	55	13,45	29,17	2,17	0,50	1,87	± 0,50
R-05	20	15,72	37,35	2,37	0,50	1,43	± 0,58
	25	13,60	27,20	2,00	0,96	5,90	± 0,70
	25	14,60	28,50	1,96	0,78	5,60	± 0,75
	30	15,20	28,57	1,88	0,40	5,00	± 1,38
	35	15,90	25,30	1,59	0,50	1,69	± 1,15
	40	17,00	28,41	1,70	0,50	1,68	± 0,58
	45	18,30	31,07	1,70	0,50	1,38	± 0,50
	50	20,13	40,00	1,99	0,50	1,32	± 0,58
R-05	55	21,03	41,07	1,95	0,50	1,11	± 0,37
	60	29,51	42,31	1,43	0,50	0,59	± 0,58
Especificação (SOUZA SANTOS,1992)		≤ 25,00	≤ 35,00	≥ 1,70	NE	≥ 6,00	NE

AA - Absorção de Água; PA - Porosidade Aparente; MEA - Massa Específica Aparente; RQ- Retração de Queima; TRF - Tensão de Ruptura à Flexão; NE- Não Especificado;

Comparando-se os resultados das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos sinterizados na temperatura de 800°C contidos na Tabela 5.6 e na Figura 5.2, com a faixa de valores especificados por SOUZA SANTOS (1992), para uso em cerâmica vermelha após queima a 950°C, podemos concluir que:

a) **Absorção de água** – Para absorção de água, todos os valores das amostras foram inferiores ao especificado (valor máximo de 25%) para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha, com exceção dos corpos cerâmicos incorporados com 60% de R-05.

b) **Porosidade aparente** – Para porosidade aparente, todos os valores das amostras foram inferiores ao máximo especificado (valor máximo de 35%) para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha, com exceção dos corpos cerâmicos incorporados com 60% de R-04 e 50%, 55% e 60% de R-05.

c) **Massa específica aparente** – Para massa específica aparente, todos os valores das amostras foram superiores ao mínimo especificado (valor mínimo de 1,70 g/cm³) para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha, com exceção dos corpos cerâmicos incorporados com 35% e 60% de R-05.

d) **Tensão de ruptura à flexão** – Para tensão de ruptura à flexão, todos os valores das amostras incorporadas com 20, 25 e 30% de resíduos foram superiores ao mínimo especificado (valor mínimo de 5,00 MPa) para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha, como também as massas com 35% dos resíduos R-01 e R-04.

A Tabela 5.7 e a Figura 5.2 apresentam os valores preliminares das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após sinterização na temperatura de 900°C.

Observando os resultados contidos na Tabela 5.7 e na Figura 5.2, verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores máximos de absorção de água de 21,19% (massa incorporada com 60% de R-02); porosidade aparente de 42,38% (massa incorporada com 60% de R-02); massa específica aparente de 2,46g/cm³ (massa incorporada com 60% de R-03), retração linear de 1,00% (massas incorporadas com 55 e 60% de R 05) e tensão de ruptura à flexão mínima de 0,98MPa (massa incorporada com 60% de R-05).

TABELA 5.7 - Propriedades físico-mecânicas preliminares dos corpos cerâmicos com resíduos após queima na temperatura de 900°C.

Amostra	Resíduo (%)	Propriedades Físico-mecânicas					
		AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	RQ (%)	TRF (MPa)	D.Padrão (MPa)
CINCERA	0	10,29	22,32	2,17	2,61	12,17	± 0,90
R-01	20	12,08	26,14	2,16	0,90	6,75	± 1,30
	25	12,15	27,10	2,23	0,70	6,10	± 0,78
	30	12,20	25,18	2,06	0,40	5,60	± 0,87
	35	12,25	26,80	2,18	0,50	5,00	± 0,20
	40	12,50	27,76	2,22	0,60	3,49	± 0,46
	45	12,57	28,09	2,23	0,80	3,27	± 0,57
	50	12,71	28,67	2,25	0,80	3,16	± 0,08
	55	13,26	22,67	1,71	0,80	2,82	± 0,57
	60	13,70	23,66	1,72	0,80	2,31	± 0,57
R-02	20	16,10	30,91	1,92	0,80	6,40	± 0,98
	25	16,20	29,16	1,80	0,75	5,70	± 0,46
	30	16,55	33,10	2,00	0,60	5,01	± 0,49
	35	16,64	33,29	2,02	0,60	3,08	± 0,55
	40	18,02	36,40	2,00	0,80	2,67	± 0,58
	45	18,07	36,14	2,00	0,80	2,61	± 0,15
	50	18,14	36,29	2,00	0,80	2,58	± 0,38
	55	19,77	39,54	2,00	0,80	1,77	± 0,47
R-03	20	12,02	26,30	2,18	0,90	6,40	± 0,58
	25	12,06	26,50	2,19	0,75	6,05	± 0,70
	30	12,09	25,44	2,10	0,60	5,84	± 0,75
	35	12,17	26,49	2,17	0,60	5,00	± 0,45
	40	12,34	27,14	2,19	0,60	4,01	± 0,59
	45	12,63	28,34	2,18	0,60	3,37	± 0,82
	50	13,04	30,02	2,24	0,60	2,94	± 0,39
	55	13,36	31,68	2,37	0,60	2,20	± 0,36
	60	13,83	34,14	2,46	0,60	2,10	± 0,69
R-04	20	11,96	24,20	2,02	0,95	14,50	± 0,32
	25	12,00	24,00	2,00	0,70	14,20	± 0,26
	30	12,10	22,17	1,83	0,60	13,45	± 0,38
	35	12,43	23,90	1,92	0,60	5,00	± 0,34
	40	12,79	25,11	1,96	0,60	5,00	± 0,36
	45	12,86	26,90	2,09	0,60	3,57	± 0,93
	50	13,30	26,37	1,98	0,60	2,28	± 0,42
	55	13,37	26,44	1,97	0,60	1,93	± 0,51
	60	15,64	36,67	2,34	0,60	1,48	± 0,04
R-05	20	12,90	20,36	1,60	0,96	6,80	± 0,31
	25	13,40	20,22	1,53	0,86	6,20	± 0,32
	30	14,34	20,00	1,39	0,50	6,00	± 0,09
	35	14,80	23,52	1,59	0,60	2,30	± 0,86
	40	15,30	24,00	1,57	0,60	2,28	± 0,72
	45	15,00	25,30	1,69	0,60	1,97	± 0,77
	50	18,01	27,00	1,50	0,60	1,79	± 0,75
	55	18,60	30,77	1,65	1,00	1,53	± 0,74
	60	20,73	31,00	1,49	1,00	0,98	± 0,56
Especificação (SOUZA SANTOS, 1992)		≤ 25,00	≤ 35,00	≥ 1,70	NE	≥ 6,00	NE

AA - Absorção de Água; PA - Porosidade Aparente; MEA - Massa Específica Aparente; RQ- Retração de Queima; TRF - Tensão de Ruptura à Flexão; NE- Não Especificado.

Comparando-se os resultados das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos sinterizados na temperatura de 900°C contidos na Tabela 5.8 e na Figura 5.2, com a faixa de valores especificados por SOUZA SANTOS (1992), para uso em cerâmica vermelha preliminares após queima a 950°C, podemos concluir que:

- a) **Absorção de água** – Para absorção de água, todos os valores das amostras foram inferiores ao máximo especificado (valor máximo de 25%) para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha.
- b) **Porosidade aparente** – Para porosidade aparente, todos os valores das amostras foram inferiores ao máximo especificado (valor máximo de 35%) para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha, com exceção dos corpos cerâmicos incorporados com 45%, 50%, 55% e 60% de R-02 e 60% R-04.
- c) **Massa específica aparente** – Para massa específica aparente, todos os valores das amostras foram superiores ao mínimo especificado (valor mínimo de 1,70g/cm³), com exceção dos corpos cerâmicos incorporados com R-05.
- d) **Tensão de ruptura à flexão** – Para tensão de ruptura à flexão, todos os valores das amostras incorporadas com 20, 25 e 30% de resíduos foram superiores ao mínimo especificado (valor mínimo de 5,00 MPa) para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha, como também os corpos cerâmicos incorporados com 35% de R-01, R-03, R-04 e com 40% de resíduo de R-04.

A Tabela 5.8 e a Figura 5.2 apresentam os valores preliminares das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após sinterização na temperatura de 1000°C.

Observando os resultados contidos na Tabela 5.8 e na Figura 5.2, verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores máximos de absorção de água de 15,59% (massa incorporada com 60% de R-04); porosidade aparente de 36,20% (massa incorporada com 60% de R-04); massa específica aparente de 2,49g/cm³ (massa incorporada com 30% de R-05), retração linear de 2,0% (massas incorporadas com 55% e 60% de R-05) e tensão de ruptura à flexão mínima de 1,43MPa (massa incorporada com 60% de R-05).

TABELA 5.8 - Propriedades físico-mecânicas preliminares dos corpos cerâmicos com resíduos após queima na temperatura de 1000°C.

Amostra	Resíduo (%)	Propriedades Físico-mecânicas					
		AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	RQ (%)	TRF (MPa)	D.Padrão (MPa)
CINCERA	0	7,21	17,03	2,33	8,49	13,79	± 0,60
R-01	20	11,62	23,40	1,99	0,80	7,50	± 0,10
	25	11,70	25,10	2,14	0,76	6,10	± 1,00
	30	11,75	24,61	2,09	0,50	6,00	± 1,07
	35	12,08	26,13	2,19	0,50	5,59	± 0,88
	40	12,33	27,11	2,20	0,70	4,07	± 1,80
	45	12,42	27,44	2,20	0,90	3,54	± 0,98
	50	12,55	21,33	1,70	0,90	3,41	± 0,56
	55	13,38	22,88	1,71	1,00	3,06	± 0,89
	60	13,64	23,00	1,68	1,00	2,55	± 0,56
R-02	20	7,30	13,58	1,86	1,10	6,80	± 0,76
	25	7,75	13,95	1,80	1,15	6,50	± 1,03
	30	7,83	15,66	1,73	1,00	5,14	± 1,20
	35	7,51	13,03	2,00	1,00	3,20	± 1,07
	40	7,76	15,52	2,00	1,00	2,83	± 0,98
	45	8,29	16,58	2,00	1,00	3,02	± 0,56
	50	7,84	15,68	2,00	1,00	2,72	± 0,98
	55	8,58	17,17	2,00	0,80	1,85	± 0,78
	60	11,00	22,08	2,01	0,80	1,48	± 0,76
R-03	20	11,70	23,60	2,01	0,90	7,90	± 0,89
	25	11,75	25,20	2,14	0,97	6,80	± 0,86
	30	11,83	25,25	2,13	0,70	6,44	± 0,89
	35	12,10	26,24	2,12	0,70	5,10	± 1,77
	40	12,29	26,93	2,19	0,70	4,30	± 0,79
	45	12,80	29,09	2,27	0,70	3,65	± 2,05
	50	12,94	29,69	2,29	0,70	3,18	± 0,34
	55	13,22	22,47	1,70	0,70	2,86	± 0,87
	60	13,66	23,25	1,70	1,00	2,47	± 0,86
R-04	20	11,20	23,50	2,09	0,80	14,30	± 2,08
	25	10,90	25,10	2,30	0,87	14,20	± 0,76
	30	10,78	21,97	2,03	0,60	13,95	± 0,78
	35	11,36	23,68	2,08	0,60	5,00	± 0,76
	40	11,72	24,84	2,02	0,60	5,00	± 0,78
	45	12,70	28,60	2,25	0,70	3,73	± 0,77
	50	13,22	24,02	1,81	0,70	2,49	± 0,76
	55	13,24	24,30	1,83	0,80	2,03	± 0,76
	60	15,59	36,20	2,32	1,00	1,56	± 0,78
R-05	20	12,75	26,30	2,06	0,80	7,30	± 0,89
	25	12,70	26,20	2,07	0,86	5,80	± 0,86
	30	12,00	29,78	2,48	0,60	5,61	± 0,97
	35	12,71	21,61	1,70	0,70	2,95	± 0,78
	40	13,00	23,50	1,81	0,80	2,91	± 0,79
	45	13,13	23,98	1,83	0,80	2,56	± 0,45
	50	14,04	26,00	1,85	1,00	2,28	± 0,68
	55	14,53	30,10	2,10	2,00	2,01	± 0,71
	60	15,00	31,56	2,10	2,00	1,43	± 0,86
Especificação (SOUZA SANTOS, 1992)		≤ 25,00	≤ 35,00	≥ 1,70	NE	≥ 6,00	NE

AA - Absorção de Água; PA - Porosidade Aparente; MEA - Massa Específica Aparente; RQ- Retração de Queima; TRF - Tensão de Ruptura à Flexão; NE- Não Especificado.

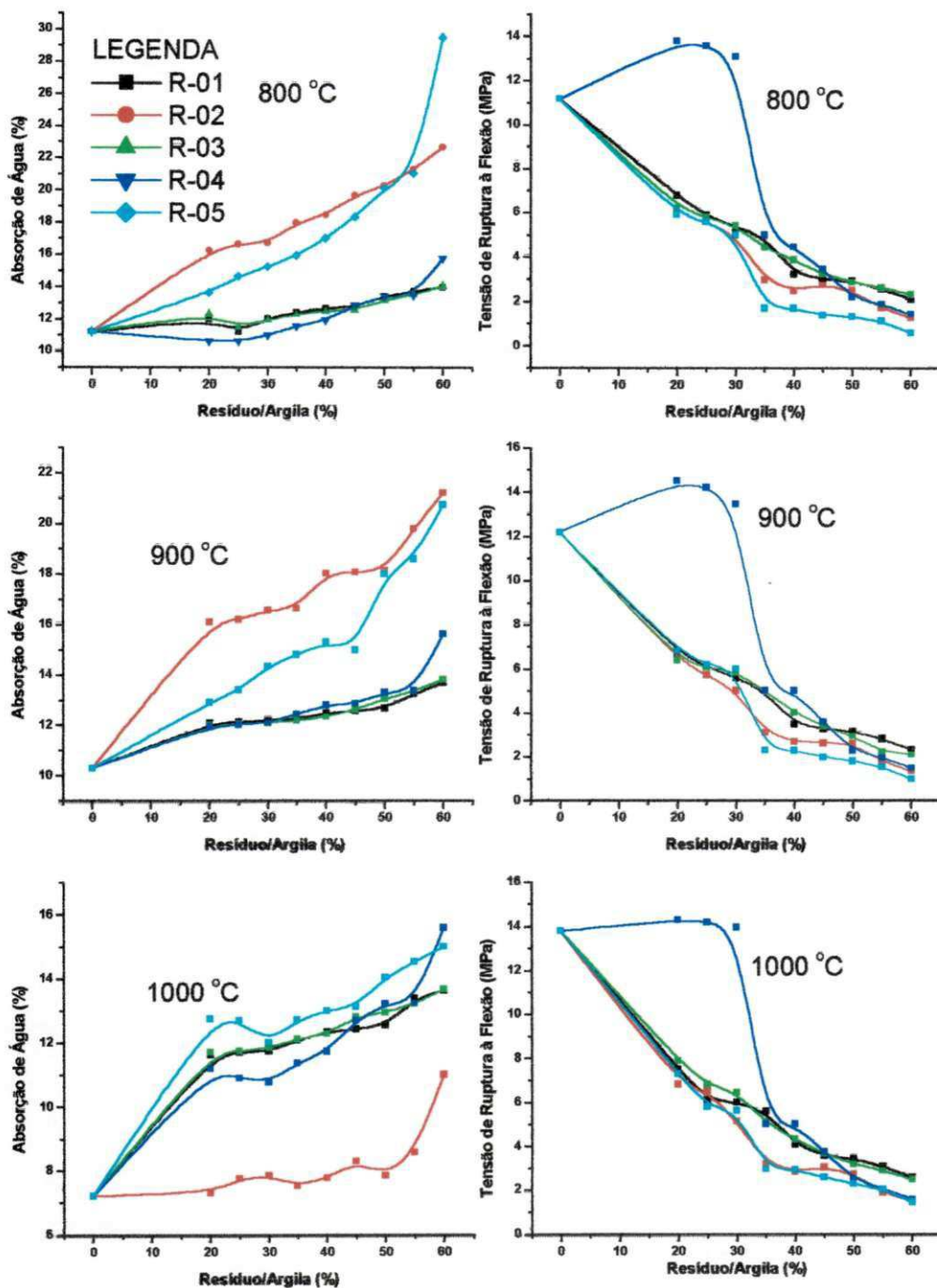


FIGURA 5.2 – Propriedades físico-mecânicas preliminares dos corpos cerâmicos incorporados com resíduos após sinterização nas temperaturas de 800° C, 900° C e 1000° C.

Comparando-se os resultados das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos sinterizados na temperatura de 1000°C contidos na Tabela 5.8 e na Figura 5.2, com a faixa de valores especificados por SOUZA SANTOS(1992) para uso em cerâmica vermelha após queima a 950°C, podemos concluir que:

- a) **Absorção de água** – Para absorção de água, todos os valores das amostras foram inferiores ao máximo especificado (valor máximo de 25%) para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha.
- b) **Porosidade aparente** – Para porosidade aparente, todos os valores das amostras foram inferiores ao máximo especificado (valor máximo de 35%) para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha, com exceção dos corpos cerâmicos incorporados com 60% de R-04.
- c) **Massa específica aparente** – Para massa específica aparente, todos os valores das amostras foram superiores ao mínimo especificado (valor mínimo de 1,70g/cm³) para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha;
- d) **Tensão de ruptura à flexão** – Para tensão de ruptura à flexão, todos os valores das amostras incorporadas com 20, 25 e 30% de resíduos foram superiores ao mínimo especificado (valor mínimo de 5,00 MPa) para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha, como também os corpos cerâmicos incorporados com 35% de resíduo R-01,R-03 e R-04.

5.3- Ensaio Completos das Massas Incorporadas com Resíduos

As Tabelas 5.9 a 5.12 e a Figura 5.3 apresentam os resultados das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos 20,0cm x 2,0cm x 1,0cm incorporados com resíduo moldados por extrusão após secagem a 110°C e sinterizados nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C. A Figura 5.3.1 mostra os aspectos visuais dos blocos e telhas das massas alternativas incorporadas com resíduos obtidos pelo processo de extrusão.

A Tabela 5.9 apresenta os resultados das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos estudados após secagem a 110°C.

TABELA 5.9 – propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após moldagem por extrusão e secagem a 110°C.

AMOSTRA	Propriedades Físico-mecânicas				
	Resíduo (%)	Umidade Prensagem (%)	RL (%)	TRF (MPa)	D.Padrão (MPa)
CINCERA	0	20,00	1,50	6,60	± 1,10
R-01	20	25,00	1,20	5,52	± 0,80
	25	24,00	1,10	5,43	± 0,91
	30	24,06	1,05	5,00	± 0,55
	35	24,00	1,04	4,36	± 1,09
	40	23,00	1,00	4,25	± 0,55
	45	23,00	1,00	2,50	± 0,56
	50	23,00	0,50	2,60	± 1,00
	55	22,00	0,50	1,54	± 0,56
	60	22,00	1,00	1,53	± 0,54
R-02	20	25,00	1,50	5,32	± 0,90
	25	24,00	1,40	5,22	± 0,91
	30	24,00	1,30	5,15	± 0,63
	35	23,00	1,20	5,02	± 0,74
	40	23,00	1,10	4,78	± 1,88
	45	23,00	0,50	4,59	± 0,98
	50	23,00	0,50	3,45	± 0,57
	55	22,00	0,50	2,56	± 0,96
R-03	20	25,00	0,50	4,56	± 0,62
	25	24,00	0,50	4,50	± 0,86
	30	24,00	0,50	4,41	± 0,60
	35	24,00	0,50	4,23	± 0,57
	40	24,00	0,50	3,25	± 0,58
	45	24,00	0,50	3,12	± 0,72
	50	23,00	0,00	2,58	± 0,59
	55	23,00	0,00	2,36	± 0,71
	60	23,00	0,50	1,53	± 0,41
R-04	20	25,00	0,50	5,00	± 0,80
	25	23,00	0,50	4,88	± 0,92
	30	23,00	0,50	4,83	± 0,41
	35	24,00	0,50	4,79	± 0,70
	40	24,00	0,40	4,58	± 0,72
	45	23,00	0,30	3,65	± 0,80
	50	23,00	0,30	2,56	± 0,74
	55	23,00	0,30	1,89	± 0,79
	60	22,00	0,20	1,54	± 0,91
R-05	20	25,00	0,30	4,58	± 0,82
	25	24,00	0,40	4,44	± 0,91
	30	24,00	0,25	4,29	± 0,70
	35	24,00	0,20	4,25	± 0,60
	40	24,00	0,20	4,23	± 0,71
	45	24,00	0,20	3,48	± 0,67
	50	23,00	0,50	3,15	± 0,68
	55	23,00	0,50	2,78	± 0,52
60	23,00	0,40	2,35	± 0,90	
Especificação (SALGE & BARZAGHI, 1982)		NE	NE	> 1,5	-

RL – Retração Linear de Secagem; TRF – Tensão de Ruptura à Flexão; NE - Não Especificado

Observando os resultados contidos na Tabela 5.9, verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores máximos de umidade de prensagem de 25,0% (massas incorporadas com 20% de R-01, R-02, R-03, R-04 e R-05); retração linear de 1,5% (massa incorporada com 20% de R-02) e tensão de ruptura à flexão mínima de 1,53MPa (massas incorporadas com 60% de R-01 e R-03).

Comparando esses resultados com valores recomendados por SALGE & BARZAGHI (1982) para que uma massa cerâmica possa ser utilizada na fabricação de blocos, telhas e ladrilho de piso, verifica-se que todas as amostras analisadas apresentaram comportamento mecânico superior ao valor mínimo fixado para blocos maciços (1,5MPa), blocos furados (2,5MPa) e telhas (3,0MPa), com exceção dos corpos cerâmicos incorporados com 55% e 60% dos resíduos R-01,R-02,R-03,R-04 e R 05 para blocos furados; massas incorporadas com 40%,50% e 60% de R-01; 55 e 60% de R-02; 50,55 e 60% de R-03; 50,55 e 60% de R-04 e 60% de R-05 para telhas, que apresentaram comportamento mecânico inferior ao mínimo especificado.

A Tabela 5.10 e a Figura 5.3 apresentam os resultados das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos estudados após sinterização na temperatura de 800°C.

Observando os resultados contidos na Tabela 5.10 e na Figura 5.3, verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores máximos de absorção de água de 19,00% (massa incorporada com 60% de R-01); porosidade aparente de 33,30% (massa incorporada com 60% de R-01); massa específica aparente de 2,32g/cm³ (massa incorporada com 35% de R-01); retração linear de 2,00% (massa incorporada com 30% de R-03) e tensão de ruptura à flexão mínima de 3,96 MPa (massa incorporada com 60% de R-02), estando dentro da faixa de valores (Tabela 2.4) dos resíduos redutores de plasticidades para uso como matéria-prima cerâmica (3 a 20 MPa).

Comparando os resultados contidos na Tabela 5.10 e na Figura 5.3 com valores recomendados por SALGE & BARZAGHI (1982) para que uma massa cerâmica possa ser utilizada na fabricação de blocos, telhas e ladrilho de piso,

TABELA 5.10 - Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após moldagem por extrusão e sinterização na temperatura de 800°C.

Amostra	Resíduo (%)	Propriedades Físico-mecânicas					
		AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	RQ (%)	TRF (MPa)	D.Padrão (MPa)
CINCERA	0	11,30	23,39	2,07	2,10	10,20	± 0,96
R-01	20	12,20	26,60	2,18	1,00	13,55	± 0,97
	25	12,25	26,98	2,20	1,00	13,23	± 0,53
	30	12,25	27,54	2,25	1,00	12,45	± 0,38
	35	12,30	28,60	2,32	1,00	11,53	± 0,71
	40	16,60	29,30	1,76	0,70	9,13	± 0,10
	45	17,00	30,60	1,80	0,80	8,58	± 0,52
	50	17,20	31,00	1,80	1,50	8,49	± 0,41
	55	18,00	32,40	1,80	0,80	6,67	± 0,41
	60	19,00	33,30	1,75	0,20	6,31	± 0,92
R-02	20	12,30	26,40	2,15	1,00	17,96	± 0,95
	25	12,52	26,54	2,12	0,50	15,63	± 0,92
	30	13,54	26,75	1,97	1,00	14,98	± 0,60
	35	14,10	26,90	1,91	0,50	13,27	± 0,42
	40	16,50	29,70	2,11	0,60	11,54	± 0,81
	45	16,50	29,80	1,81	0,60	8,04	± 0,10
	50	16,70	29,80	1,78	0,60	7,58	± 0,81
	55	17,80	30,80	1,76	0,80	5,63	± 0,52
R-03	20	12,50	27,50	2,20	2,00	16,44	± 0,96
	25	12,87	27,64	2,15	0,50	15,00	± 0,88
	30	13,00	27,90	2,15	2,00	15,40	± 0,71
	35	13,30	28,30	2,13	0,50	15,50	± 0,82
	40	16,70	28,50	1,71	0,50	8,85	± 0,81
	45	17,10	30,40	1,78	0,50	8,71	± 0,32
	50	17,80	32,30	1,81	0,50	7,62	± 0,51
	55	17,80	32,50	1,82	0,50	5,00	± 1,22
R-04	20	12,70	26,70	2,10	0,50	13,35	± 0,74
	25	12,89	26,83	2,08	0,50	12,00	± 0,90
	30	13,54	27,00	1,99	0,50	12,65	± 0,70
	35	14,00	27,40	1,96	0,50	12,92	± 0,81
	40	14,50	28,60	1,97	1,00	12,30	± 0,41
	45	14,80	28,60	1,93	0,50	11,11	± 0,95
	50	15,10	28,70	1,90	0,50	9,37	± 0,38
	55	16,00	29,00	1,80	0,50	8,00	± 0,41
R-05	20	12,20	20,40	1,60	0,50	13,90	± 0,96
	25	12,36	21,47	1,74	0,50	13,56	± 0,93
	30	12,54	22,63	1,80	0,50	13,28	± 0,75
	35	12,60	23,90	1,90	0,50	13,00	± 0,56
	40	14,30	27,00	1,90	0,50	12,20	± 0,53
	45	15,50	28,00	1,80	0,50	13,20	± 0,72
	50	15,80	30,00	1,90	0,50	12,70	± 0,52
	55	17,90	31,90	1,80	0,50	12,30	± 0,79
60	18,50	32,50	1,70	0,00	9,30	± 0,96	
Especificação (SALGE & BARZAGHI, 1982)		≤ 25,00	NE	NE	NE	≥ 6,00	NE

AA - Absorção de Água; PA - Porosidade Aparente; MEA - Massa Específica Real; RQ- Retração de Queima; TRF - Tensão de Ruptura à Flexão; NE-Não Especificados.

verifica-se que todos os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores de absorção de água inferiores ao máximo especificado para blocos furados (máximo 25%) e telhas (máximo 20%).

Para tensão de ruptura à flexão resultados contidos na Tabela 5.10 e na Figura 5.3, verificam-se que todos os corpos cerâmicos incorporados com resíduo apresentaram valores superiores ao mínimo especificado por SALGE & BARZAGHI (1982) para blocos maciços (mínima 2,0MPa), blocos furados (mínima 5,5MPa) e telhas (mínima 6,5MPa), com exceção dos corpos cerâmicos incorporados com 60% de R-02 e 55% e 60% do resíduo R-03 para telhas que apresentaram comportamento mecânico inferior ao mínimo especificado.

A Tabela 5.11 e a Figura 5.3 apresentam os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com resíduos após sinterização na temperatura de 900°C.

Observando os resultados contidos na Tabela 5.11 e na Figura 5.3, verifica-se que os corpos cerâmicos apresentaram valores máximos de absorção de água de 18,15% (massa incorporada com 60% de R-05); porosidade aparente de 32,30% (massa incorporada com 60% de R-01); massa específica aparente de 2,18 g/cm³ (massa incorporada com 20% de R-03); retração linear de 2,00% (massa incorporada com 20% de R-01) e tensão de ruptura à flexão mínima de 4,63 MPa (massa incorporada com 60% de R-02), estando dentro da faixa de valores (Tabela 2.4) dos resíduos redutores de plasticidades para uso como matéria-prima cerâmica (3 a 20MPa).

Comparando os resultados contidos na Tabela 5.11 e na Figura 5.3 com os valores preconizados por SALGE E BARZAGHI (1982) para que uma massa cerâmica possa ser utilizada na fabricação de blocos, telhas e ladrilhos de piso, verifica-se que todas os corpos cerâmicos estudados apresentaram resultados de absorção de água inferiores ao máximo especificado para blocos furados (máximo de 25%) e telhas (máximo de 20%).

Para tensão de ruptura à flexão valores contidos na Tabela 5.11 e na Figura 5.3, verifica-se que todos os corpos cerâmicos incorporados com resíduo apresentaram valores superiores ao mínimo especificado SALGE & BARZAGHI

TABELA 5.11 Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após moldagem por extrusão e sinterização na temperatura de 900°C.

Amostra	Resíduo (%)	Propriedades Físico-mecânicas					
		AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	RQ (%)	TRF (MPa)	D. Padrão (MPa)
CINCERA	0	10,29	21,25	2,06	3,00	12,17	± 0,95
R-01	20	12,10	26,40	1,18	1,50	17,89	± 0,98
	25	12,20	26,45	2,17	1,50	14,56	± 0,52
	30	12,25	26,65	2,17	1,50	14,44	± 0,50
	35	12,30	26,70	2,17	1,50	13,85	± 0,96
	40	16,00	30,30	1,89	0,90	12,18	± 0,42
	45	16,10	30,60	1,90	1,40	9,29	± 0,41
	50	16,70	30,90	1,85	2,00	8,91	± 0,82
	55	16,70	31,40	1,85	0,50	8,08	± 0,42
	60	17,80	32,30	1,81	0,50	6,83	± 0,97
R-02	20	11,50	20,11	1,75	1,00	21,73	± 0,58
	25	11,54	20,18	1,75	1,00	18,52	± 1,15
	30	11,89	22,54	1,88	1,00	15,26	± 0,76
	35	12,00	26,20	2,17	1,00	16,84	± 1,03
	40	16,20	28,80	1,78	0,50	15,05	± 0,92
	45	16,30	29,00	1,78	0,50	8,53	± 0,10
	50	17,20	29,00	1,69	0,60	7,68	± 0,51
	55	17,70	30,20	1,71	0,50	5,94	± 0,80
R-03	20	12,50	27,30	2,18	1,40	17,03	± 0,76
	25	12,76	27,38	2,14	1,30	17,03	± 0,20
	30	12,90	27,45	2,13	1,20	17,00	± 0,98
	35	13,00	27,50	2,11	1,30	17,00	± 0,49
	40	15,40	28,50	1,85	1,10	9,23	± 1,40
	45	16,60	30,80	1,85	0,60	7,69	± 0,41
	50	17,80	31,00	1,74	0,60	8,41	± 0,90
	55	17,80	31,30	1,76	0,60	6,74	± 0,88
R-04	20	12,70	27,00	2,12	0,50	17,87	± 0,76
	25	12,74	27,33	2,14	1,00	17,00	± 0,91
	30	12,90	27,39	2,12	0,50	16,84	± 0,35
	35	13,00	27,40	2,11	1,00	16,51	± 0,86
	40	13,50	28,00	2,10	1,00	12,35	± 0,45
	45	13,80	28,30	2,05	0,50	12,30	± 0,96
	50	14,40	28,60	1,99	1,00	12,01	± 0,52
	55	15,00	28,00	1,90	1,00	10,11	± 0,10
R-05	20	11,60	22,00	1,70	1,10	18,90	± 0,70
	25	11,60	22,55	1,94	1,00	18,56	± 0,96
	30	11,60	22,74	1,96	1,05	18,23	± 0,36
	35	11,60	22,80	2,00	1,00	18,00	± 0,81
	40	11,80	22,80	1,90	0,55	17,20	± 0,74
	45	13,50	23,00	1,70	0,53	15,90	± 0,40
	50	14,90	28,30	1,90	0,51	15,20	± 0,41
	55	17,20	28,90	1,70	0,55	12,30	± 1,03
60	18,10	31,20	1,70	0,50	9,80	± 0,81	
Especificação (SALGE & BARZAGHI, 1982)		≤ 25,00	NE	NE	NE	≥ 6,00	NE

AA - Absorção de Água; PA - Porosidade Aparente; MEA - Massa Específica Real; RQ- Retração de Queima; TRF - Tensão de Ruptura à Flexão; NE - Não Especificado.

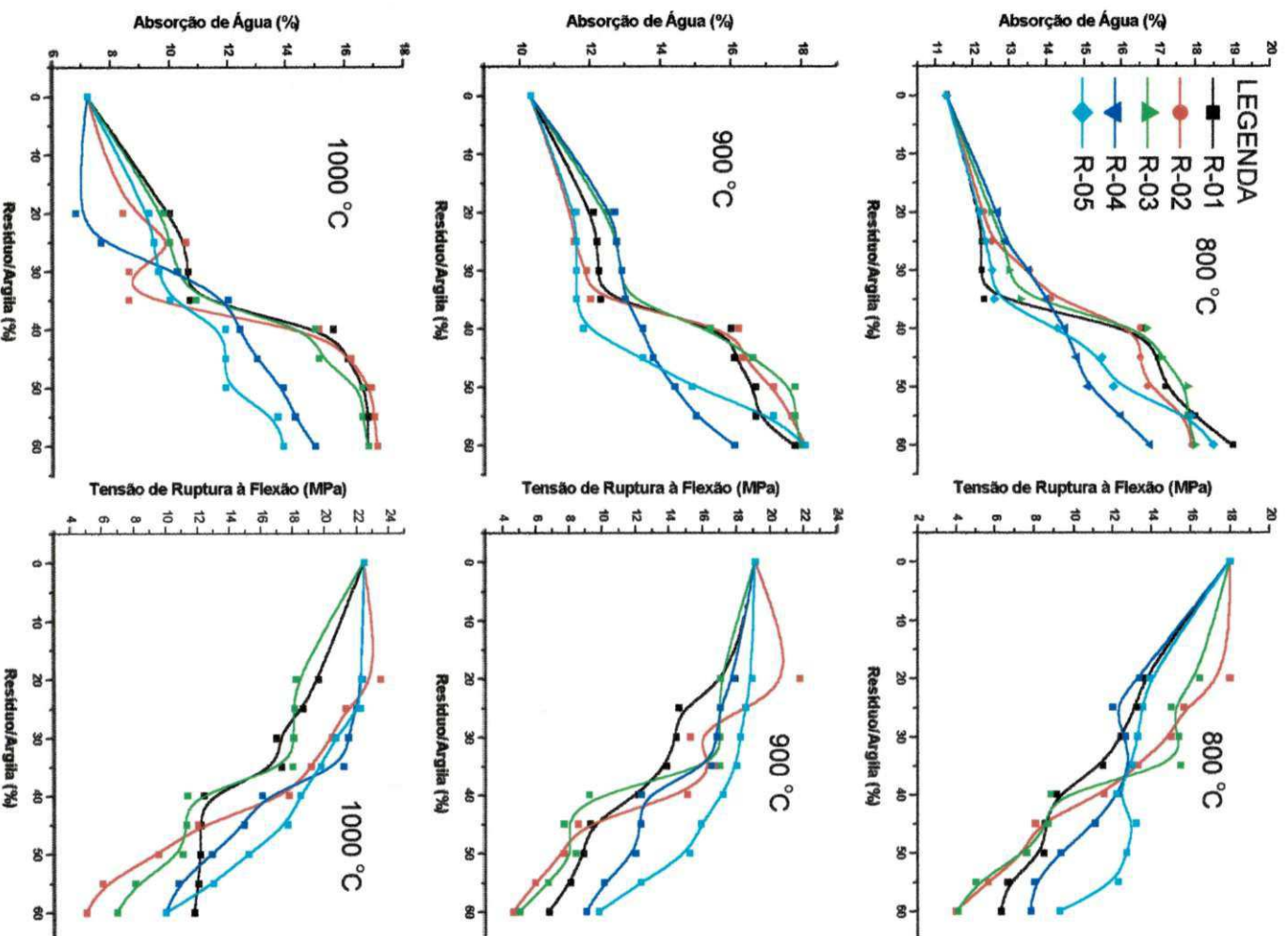


FIGURA 5.3 – Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com resíduos conformado pelo processo de extrusão após sinterização nas temperaturas de 800° C, 900° C e 1000° C.

(1982) para blocos maciços (mínima 2,0MPa), blocos furados (mínima 5,5MPa) e telhas (mínima 6,5MPa), com exceção dos corpos cerâmicos incorporados com 55 e 60% do resíduo R-02 para telhas que apresentaram a comportamento mecânico inferior ao mínimo especificado.

A Tabela 5.12. e a Figura 5.3 apresentam os valores das propriedades físico-mecânicas dos resíduos estudados após sinterização na temperatura de 1000° C.

Observando os resultados contidos na Tabela 5.12 e na Figura 5.3, verifica-se que os corpos cerâmicos estudadas apresentaram valores máximos de absorção de água de 17,10% (massa incorporada com 60% de R-02); porosidade aparente de 31,90% (massa incorporada com 60% de R-01); massa específica aparente de 2,32g/cm³ (massa incorporada com 35% de R-01); retração linear de 2,00% (massa incorporada com 20% de R-03) e tensão de ruptura à flexão mínima de 5,02 MPa (massa incorporada com 60% de R-02), estando dentro da faixa de valores (Tabela 2.4) dos resíduos redutores de plasticidades para uso como matéria-prima cerâmica (3 a 20 MPa).

Comparando os resultados contidos na Tabela 5.12 e na Figura 5.3 com os valores preconizados por SALGE E BARZAGHI (1982) para que uma massa cerâmica possa ser utilizada na fabricação de blocos, telhas e ladrilhos de piso, verifica-se que todas os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores de absorção de água inferiores ao máximo especificado para blocos furados (máximo de 25%) e telhas (máximo de 20%).

Para tensão de ruptura à flexão valores contidos na Tabela 5.12 e na Figura 5.3, verifica-se que todas os corpos cerâmicos incorporados com resíduos apresentaram valores superiores ao mínimo especificado por SALGE & BARZAGHI (1982) para blocos maciços (mínima 2,0MPa), blocos furados (mínima 5,5MPa) e telhas (mínima 6,5MPa), com exceção dos corpos cerâmicos incorporados com 55 e 60% do resíduo R-02 para telhas que apresentaram comportamento mecânico inferior ao mínimo especificado.

TABELA 5.12- Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após moldagem por extrusão e sinterização na temperatura de 1000°C.

Amostra	Resíduo (%)	Propriedades Físico-mecânicas					
		AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	RQ (%)	TRF (MPa)	D.Padrão (MPa)
CINCERA	0	7,21	15,64	2,17	4,10	13,78	± 0,92
R-01	20	10,00	22,00	2,20	2,40	19,64	± 0,96
	25	10,54	23,47	2,23	1,50	18,65	± 0,70
	30	10,63	24,88	2,34	2,40	17,00	± 0,70
	35	10,70	25,70	2,40	1,50	17,33	± 0,10
	40	15,60	30,00	1,92	1,40	12,38	± 0,79
	45	16,10	30,00	1,86	1,40	12,22	± 0,76
	50	16,70	30,30	2,12	0,50	12,17	± 1,22
	55	16,80	31,00	1,88	0,55	12,07	± 0,92
	60	16,80	31,90	1,93	1,00	11,78	± 1,21
R-02	20	8,40	18,50	2,20	2,40	23,52	± 0,90
	25	8,55	20,44	2,39	1,50	21,33	± 0,10
	30	8,60	21,36	2,48	2,40	20,45	± 0,41
	35	8,60	22,90	2,46	1,50	19,16	± 0,70
	40	15,10	27,40	1,81	2,90	17,80	± 0,52
	45	16,20	27,80	1,72	1,00	12,03	± 0,97
	50	16,90	28,10	1,66	0,55	9,54	± 0,77
	55	17,00	29,80	1,75	1,00	6,04	± 0,50
R-03	20	9,80	21,70	2,21	4,00	18,20	± 0,80
	25	10,00	22,65	2,26	0,50	18,12	± 0,96
	30	10,28	23,47	2,28	2,00	18,06	± 0,76
	35	10,90	24,00	2,20	0,55	18,00	± 0,20
	40	15,00	28,00	1,87	0,55	11,35	± 0,98
	45	15,10	28,30	1,87	0,90	11,29	± 0,49
	50	16,60	28,60	1,72	0,60	11,06	± 1,40
	55	16,60	29,00	1,75	0,70	8,09	± 0,41
R-04	20	6,80	15,50	2,28	1,20	22,35	± 0,78
	25	7,66	18,47	2,40	1,00	22,00	± 0,92
	30	10,25	21,69	2,12	1,20	21,47	± 0,96
	35	12,00	23,10	1,92	1,00	21,22	± 0,88
	40	12,40	24,40	1,97	2,00	16,08	± 0,50
	45	13,00	25,00	1,92	0,50	14,97	± 0,96
	50	13,90	25,70	1,85	1,00	12,90	± 0,42
	55	14,30	25,30	1,80	1,00	10,80	± 0,97
R-05	20	9,30	19,00	2,00	2,00	22,30	± 0,90
	25	9,47	19,20	2,03	1,50	22,23	± 0,81
	30	9,62	19,54	2,03	1,61	20,69	± 0,57
	35	10,00	19,60	2,00	1,50	19,80	± 0,71
	40	11,90	23,10	1,90	1,50	18,50	± 0,76
	45	11,90	23,20	1,90	0,50	17,70	± 0,52
	50	11,90	24,00	2,00	1,00	15,20	± 0,81
	55	13,70	25,00	1,80	0,55	13,00	± 0,41
60	13,90	29,70	2,10	0,55	10,00	± 0,55	
Especificação (SALGE & BARZAGHI, 1982)		≤ 25,00	NE	NE	NE	≥ 6,00	NE

AA - Absorção de Água; PA - Porosidade Aparente; MEA - Massa Específica Real; RQ- Retração de Queima; TRF - Tensão de Ruptura à Flexão; NE- Não Especificado.

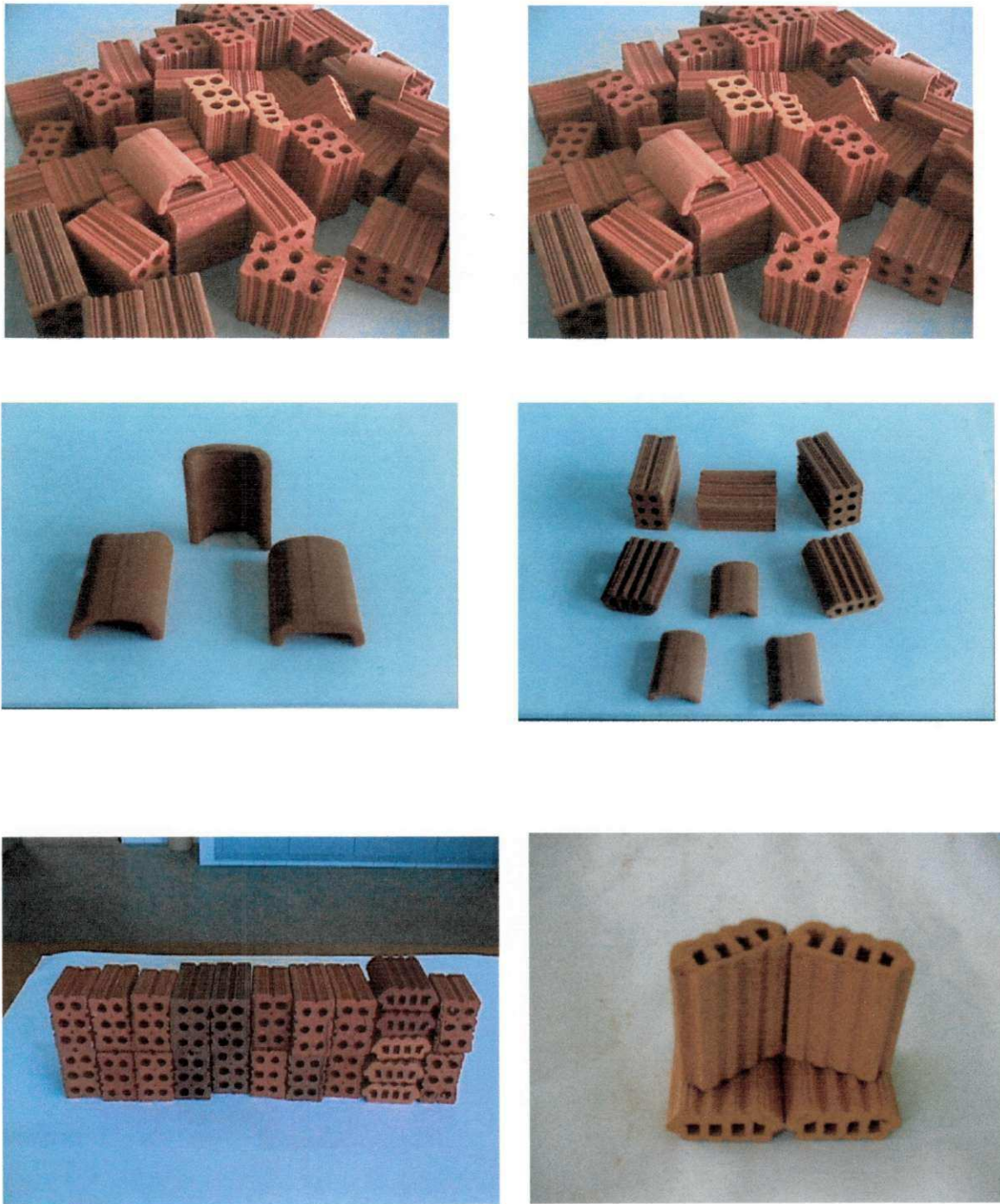


FIGURA 5.3.1 – Blocos, telhas e lajotas das massas alternativas incorporadas com resíduos conformadas pelo processo de extrusão.

5.3.1 - Massas Incorporados com Mistura de Resíduos

As Tabelas 5.13 a 5.16 e as Figuras 5.4 e 5.5 apresentam os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos estudados incorporados com mistura dos resíduos para uso em cerâmica vermelha, após secagem a 110°C e sinterização nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C.

A Tabela 5.13 apresenta os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos estudados para uso em cerâmica vermelha, após secagem a 110°C.

TABELA 5.13 - Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com misturas de resíduos após secagem a 110°C.

Resíduo (%)	Propriedades Físico-Mecânicas			
	Umidade de Extrusão (%)	R L (%)	TRF (MPa)	D. Padrão (MPa)
20	22,00	1,00	7,00	± 1,10
25	22,00	0,80	6,60	± 0,98
30	23,00	0,50	6,40	± 0,50
35	23,00	0,50	4,90	± 0,76
40	24,00	0,50	4,40	± 0,80
45	24,00	0,50	4,00	± 0,98
50	24,00	0,50	4,00	± 0,78
55	25,00	0,30	3,90	± 0,76
60	25,00	0,30	3,30	± 1,10
Especificação (SALGE & BARZAGHI,1982)	NE	NE	> 1,5	NE

RL- Retração Linear de Secagem; TRF – Tensão de Ruptura à Flexão; NE-Não Especificado

Observando os resultados contidos na Tabela 5.13, verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores máximos de umidade de prensagem de 25,0% (massas incorporadas com 55 e 60% de resíduos); retração linear de 1,0% (massas incorporadas com 20% de resíduos) e tensão de ruptura à flexão mínima de 3,30MPa (massas incorporadas com 60% de resíduos).

Comparando os resultados contidos na Tabela 5.13 com os valores recomendados por SALGE & BARZAGHI (1982), verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram comportamento mecânico com valores

superiores ao valor mínimo fixada para blocos maciços (1,5 MPa), blocos furados (2,5MPa) e telhas (3,0 MPa).

A Tabela 5.14 e as Figuras 5.4 e 5.5 apresentam os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos estudados para uso em em cerâmica vermelha, após sinterização na temperatura de 800°C.

TABELA 5.14 - Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com misturas de resíduos após sinterização na temperatura de 800°C.

Resíduo (%)	Propriedades Físico-mecânicas					
	AA (%)	PA (%)	RQ (%)	MEA (g/cm ³)	TRF (MPa)	D.Padrão (MPa)
20	15,10	28,30	0,90	1,90	8,30	± 1,02
25	15,30	28,35	0,90	1,80	8,20	± 0,86
30	15,30	28,42	0,90	1,81	8,16	± 0,88
35	15,50	28,80	0,90	1,81	8,10	± 0,97
40	15,60	28,90	0,50	1,81	6,80	± 0,92
45	15,60	29,40	0,50	1,90	6,20	± 0,67
50	15,60	29,60	0,50	1,90	6,20	± 0,54
55	15,70	30,20	0,50	1,90	5,50	± 0,86
60	15,90	30,90	0,45	1,81	5,30	± 0,89
Especificação (SALGE & BARZAGHI, 1982)	≤ 25,00	NE	NE	NE	≥ 6,00	NE

AA - Absorção de Água; PA - Porosidade Aparente; MEA - Massa Específica Real; RQ- Retração de Queima; TRF – Tensão de Ruptura à Flexão; NE- Especificados.

Observando os resultados contidos na Tabela 5.14, verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores máximos de absorção de água de 15,90% (massas incorporadas com 60% de resíduos); porosidade aparente de 30,90% (massas incorporadas com 60% de resíduos); massa específica aparente de 1,90g/cm³(massas incorporadas com 55% de resíduos); retração linear de 0,90%(massas incorporadas com 55% de resíduo) e tensão de ruptura à flexão mínima de 5,30 MPa (massas incorporadas com 60% de resíduos), estando dentro da faixa de valores (Tabela 2.4) dos resíduos redutores de plasticidades para uso como matéria-prima cerâmica (3 a 20 MPa).

Comparando os resultados contidos na Tabela 5.14 e na Figura 5.4 com os valores especificado por SALGE & BARZAGHI (1982), verifica-se que os corpos

cerâmicos estudados apresentaram valores de absorção de água inferiores ao máximo especificado para blocos furados (25%) e telhas (20%).

Para tensão de ruptura à flexão valores contidos na Tabela 5.14 e na Figura 5.5, verifica-se que todos os corpos cerâmicos incorporados com misturas de resíduos apresentaram valores de tensão de ruptura à flexão superiores ao mínimo especificado por SALGE & BARZAGHI (1982) para blocos maciços (2,0MPa), blocos furados (5,5MPa) e telhas (6,5MPa), com exceção das massas incorporadas com 55% e 60% da mistura dos resíduos para blocos furados e das massas incorporadas com 45% e 60% da mistura de resíduos para telhas, que apresentaram valores inferiores ao valor mínimo fixado.

A Tabela 5.15 e as Figuras 5.4 e 5.5, apresentam os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos estudados incorporados com mistura dos resíduos para uso em cerâmica vermelha, após queima na temperatura de queima a 900°C.

TABELA 5.15 - Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com misturas de resíduos após queima na temperatura de 900°C.

Resíduo (%)	Propriedades Físico-mecânicas					
	AA (%)	PA (%)	RQ (%)	MEA (g/cm ³)	TRF (MPa)	D.Padrão (MPa)
20	12,40	24,20	0,60	1,90	9,80	± 0,56
25	12,50	24,36	0,60	1,91	9,74	± 0,59
30	12,56	24,64	0,55	2,00	9,62	± 0,78
35	12,70	24,70	0,90	1,92	9,50	± 0,97
40	12,90	25,50	0,56	1,91	8,10	± 0,86
45	13,30	28,70	0,57	1,91	8,10	± 0,93
50	13,40	29,20	0,51	1,91	7,30	± 0,94
55	13,40	29,70	0,56	1,92	6,00	± 0,93
60	13,50	30,90	0,50	1,94	5,60	± 0,30
Especificação (SALGE & BARZAGHI, 1982)	≤ 25,00	NE	NE	NE	≥ 6,00	NE

AA - Absorção de Água; PA - Porosidade Aparente; MEA - Massa Específica Real; RQ - Retração de Queima; TRF - Tensão de Ruptura à Flexão; NE - Não Especificado.

Observando os resultados contidos na Tabela 5.15, verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores máximos de absorção de água de 13,50% (massas incorporadas com 60% de resíduos); porosidade aparente de 30,90% (massas incorporadas com 60% de resíduos); massa

específica aparente de $2,00\text{g/cm}^3$ (massa incorporadas com 30% de resíduos); retração linear de 0,90% (massas incorporadas com 35% de resíduos) e tensão de ruptura à flexão mínima de 5,60 MPa (massas incorporadas com 60% de resíduos), estando dentro da faixa de valores (Tabela 2.4) dos resíduos redutores de plasticidades para uso como matéria-prima cerâmica (3 a 20 MPa).

Comparando os valores contidos na Tabela 5.15 e na Figura 5.4 com os resultados recomendados por SALGE & BARZAGHI (1982), verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores de absorção de água inferiores ao máximo especificado para blocos furados (25%) e telhas (20%).

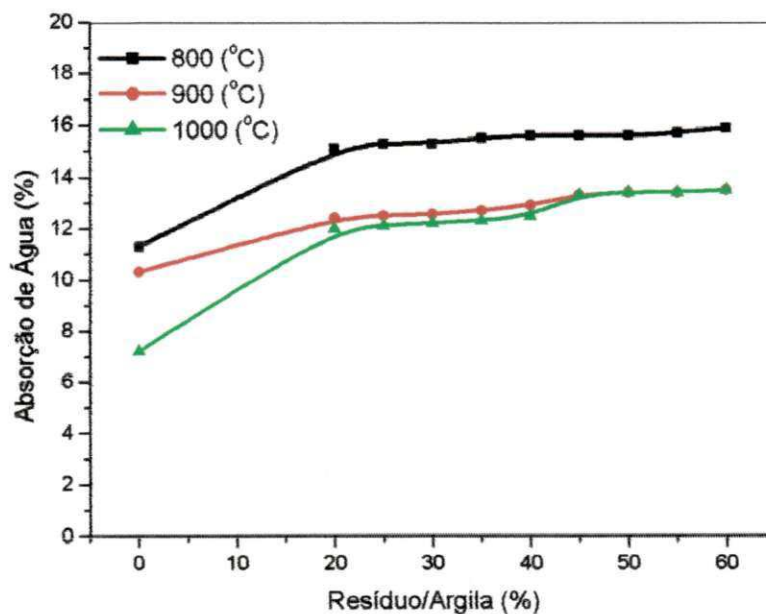


FIGURA 5.4 – Absorção de água dos corpos cerâmicos incorporados com misturas dos resíduos após sinterização nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C.

Para tensão de ruptura à flexão valores contidos na Tabela 5.15 e na Figura 5.5, verifica-se que todas os corpos cerâmicos incorporados com misturas de resíduos apresentaram valores de tensão de ruptura à flexão superiores ao mínimo especificado por SALGE & BARZAGHI (1982) para blocos maciços (2,0MPa), blocos furados (5,5MPa) e telhas (6,5MPa), com exceção dos corpos

cerâmicos incorporados com 55% e 60% da mistura dos resíduos para telhas, que apresentam valores inferiores ao valor mínimo fixado.

A Tabela 5.16 e as Figuras 5.4 e 5.5, apresentam os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com mistura dos resíduos estudados para uso em cerâmica vermelha, após queima na temperatura de 1000°C.

TABELA 5.16 - Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com misturas de resíduos após queima na temperatura de 1000°C.

Resíduo (%)	Propriedades Físico-mecânicas					
	AA (%)	PA (%)	RQ (%)	MEA (g/cm ³)	TRF (MPa)	D.Padrão (MPa)
20	12,00	24,20	1,00	1,90	10,60	± 0,20
25	12,10	24,36	0,95	2,00	10,40	± 1,15
30	12,22	24,54	0,90	2,00	10,20	± 0,70
35	12,30	24,70	0,85	1,90	10,10	± 0,65
40	12,50	25,00	0,50	1,90	9,80	± 0,76
45	13,30	25,70	0,50	1,90	9,40	± 0,88
50	13,40	25,80	0,90	1,90	8,60	± 0,69
55	13,40	25,90	0,45	1,80	7,20	± 0,76
60	13,50	25,90	0,50	1,90	6,70	± 0,82
Especificação (SALGE & BARZAGHI, 1982)	≤ 25,00	NE	NE	NE	≥ 6,00	NE

AA - Absorção de Água; PA - Porosidade Aparente; MEA - Massa Específica Real; RQ- Retração de Queima; TRF – Tensão de Ruptura à Flexão; NE- Não Especificado.

Observando os resultados contidos na Tabela 5.16, verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores máximos de absorção de água de 13,50% (massas incorporadas com 60% de resíduos); porosidade aparente de 25,90% (massas incorporadas com 60% de resíduos) para porosidade aparente; massa específica aparente de 2,00g/cm³ (massas incorporadas com 25% de resíduos) para densidade aparente; retração linear de 1.00% (massas incorporadas com 35% de resíduos) para retração linear de queima e tensão de ruptura à flexão mínima de 6,70 MPa (massas incorporadas com 60% de resíduos), estando dentro da faixa de valores (Tabela 2.4) dos

resíduos redutores de plasticidades para uso como matéria-prima cerâmica (3 a 20 MPa).

Comparando os resultados contidos na Tabela 5.16 e na Figura 5.4 com os valores especificados por SALGE & BARZAGHI (1982), verifica-se que as amostras estudadas apresentaram valores de absorção de água inferiores ao máximo especificado para blocos furados (25%) e telhas (20%).

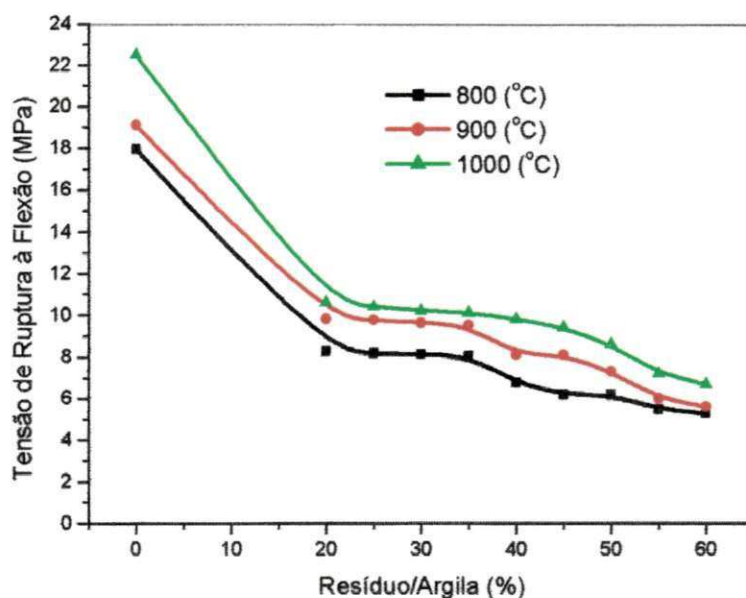


FIGURA 5.5 – Tensão de ruptura à flexão dos corpos cerâmicos incorporados com misturas dos resíduos após sinterização nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C.

Para tensão de ruptura à flexão valores contidos na Tabela 5.16 e na Figura 5.5, verifica-se que todos os corpos cerâmicos incorporados com misturas de resíduos apresentaram valores de tensão de ruptura à flexão superiores ao valor mínimo especificado por SALGE & BARZAGHI (1982) para blocos maciços (2,0 MPa), blocos furados (5,5 MPa) e telhas (6,5 MPa), com exceção dos corpos cerâmicos incorporados com 55% e 60% da mistura dos resíduos para telhas, que apresentaram valores inferiores ao valor mínimo fixado.

5.4- Ensaio em Escala Piloto das Massas Incorporadas com Resíduos

As Tabelas 5.17 e as Figura 5.6 e 5.7 apresentam os resultados das propriedades físico-mecânicas dos blocos cerâmicos 200,0mm x 100,0mm x 50,0 mm incorporados com resíduos moldados de acordo com as normas da ABNT NBR 7170 (1983) e NBR 7171(1992). A Figura 5.7.1 mostra os aspectos visuais dos blocos cerâmicos obtidos industrialmente.

Observando os resultados contidos na Tabela 5.17 e na Figura 5.6, verifica-se que os blocos cerâmicos estudados apresentaram valores máximos de absorção de água de 31,51% (massa incorporada com 60% de resíduo R-03) e resistência à compressão simples 1,52 MPa (massa incorporada com 60% de resíduo R-01).

Comparando os valores contidos na Tabela 5.17 e na Figura 5.6 com as especificações da ABNT NBR 7171(1992) para blocos cerâmicos de alvenaria, verifica-se que todas as amostras estudadas apresentaram valores de absorção de água dentro da faixa limite especificada (8% e 25%).

Para resistência à compressão simples valores contidos na Tabela 5.16 e na Figura 5.7, indicam que todas as massas estudadas apresentaram classificação de acordo com a norma da ABNT NBR 7170 (1983) para tijolos maciço como sendo: classe A, todos os blocos cerâmicos incorporados com 40, 45, 50, 55 e 60% de resíduos; Classe B, todos os blocos incorporados com 20, 25, 30 e 35% resíduos; Classe C, todos os blocos incorporados com 20% de resíduos R-03, R-04 e R-05%. Em relação à norma ABNT NBR 7171 (1992) para alvenaria todos os blocos cerâmicos estudados apresentaram classificação como sendo: Classe 10, todos os blocos incorporados com 40, 45, 50, 55 e 60% de resíduos; Classe 25, todos os blocos incorporados com 20, 25, 30 e 35% de resíduos e Classe 45, todos os blocos incorporados com 20% de resíduos R-03 e R-05.

TABELA 5.17 - Propriedades físico-mecânicas dos blocos cerâmicos em escala piloto.

Propriedades Cerâmicas	Resíduo (%)	CINCERA	R-01	R-02	R-03	R-04	R-05	Mistura Resíduo
Absorção de Água (%)	20	12,10	12,42	12,19	15,64	12,29	12,80	14,96
	25		13,73	13,73	17,44	14,23	14,73	17,44
	30		15,84	14,19	18,23	14,60	15,10	17,50
	35		18,23	16,14	19,82	16,54	17,04	18,54
	40		19,55	17,27	20,56	17,77	18,27	19,42
	45		20,00	20,03	20,92	20,53	21,03	22,76
	50		20,54	20,40	21,84	20,90	21,40	22,90
	55		21,33	20,58	24,73	21,08	21,58	23,23
	60		23,00	24,61	31,51	25,11	25,61	24,31
Resistência à compressão Simples (MPa)	20	4,90	3,54	3,82	4,51	4,21	4,81	3,33
	25		2,93	3,56	3,22	3,02	3,62	2,52
	30		2,65	3,30	3,05	2,85	3,15	2,46
	35		2,57	2,73	2,51	2,51	2,91	2,19
	40		2,12	2,66	2,40	2,20	2,80	1,93
	45		2,05	2,45	2,26	2,06	2,46	1,87
	50		1,92	2,30	2,15	1,95	2,45	1,80
	55		1,73	1,64	2,00	1,80	2,40	1,78
	60		1,52	1,55	1,83	1,63	2,03	1,76

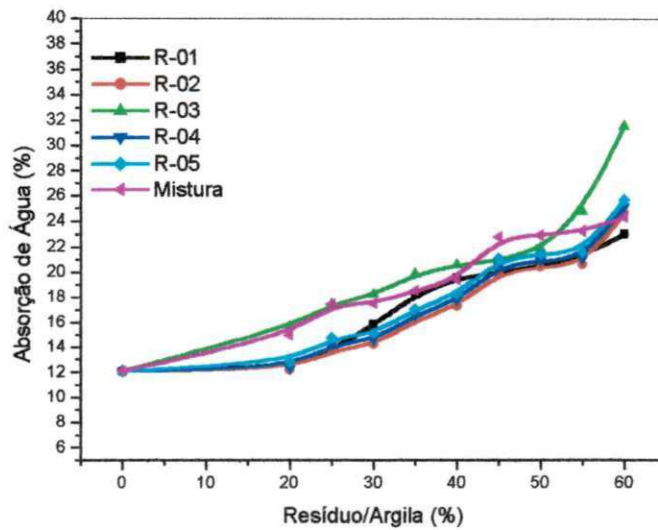


FIGURA 5.6 – Absorção de água dos blocos cerâmicos incorporados com resíduos em escala piloto.

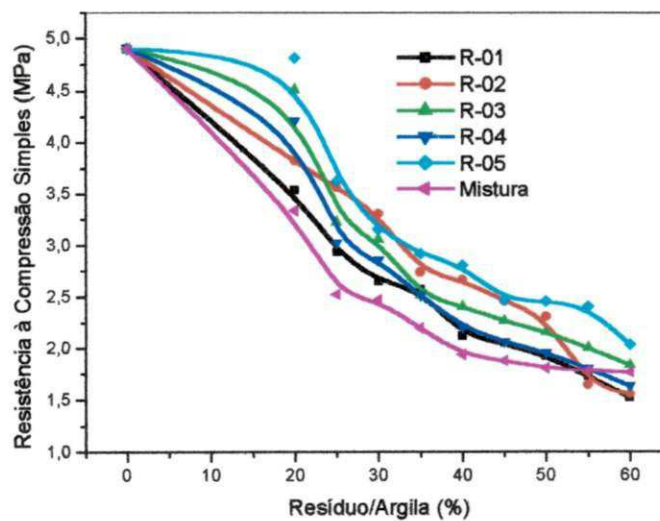


FIGURA 5.7 – Resistência à compressão simples dos blocos cerâmicos incorporados com resíduos em escala piloto.

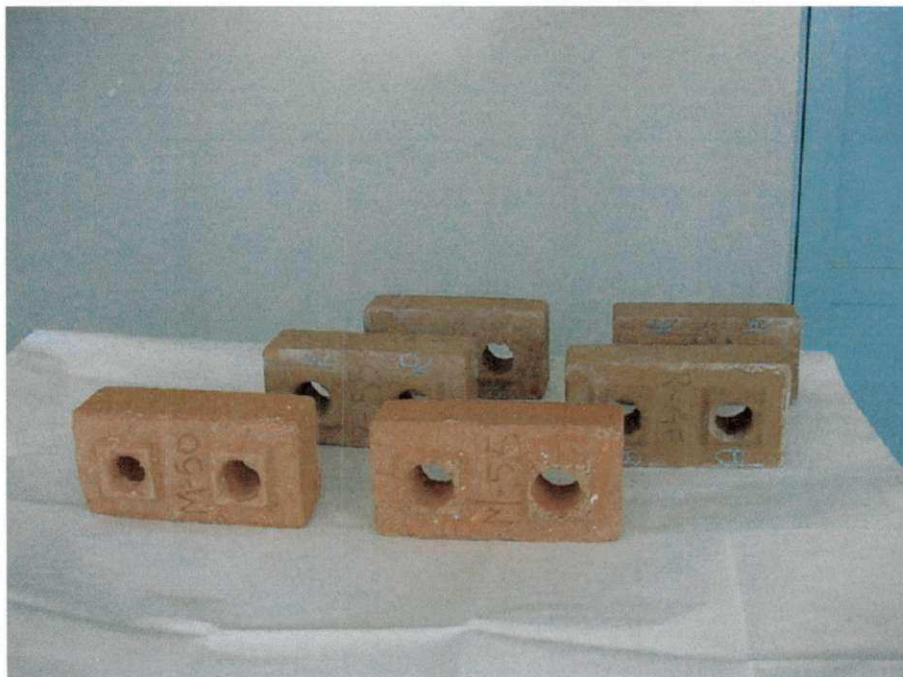
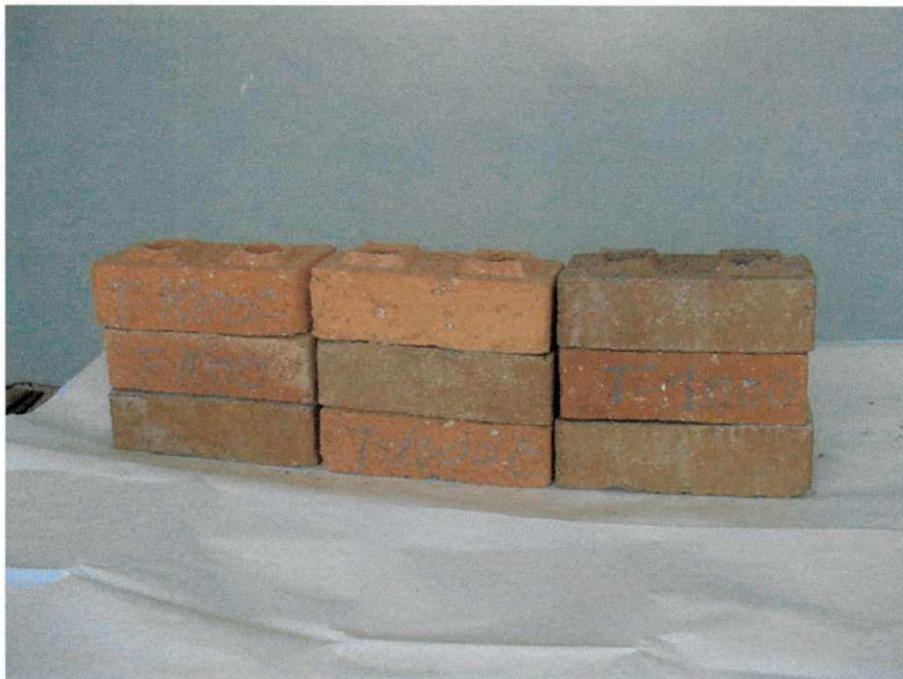


FIGURA 5.7.1 – Blocos cerâmicos das massas alternativas incorporadas com resíduos em escala piloto.

5.5 – Conclusões Parciais

Analisando conjuntamente os resultados podemos concluir que:

5.1– Matérias-primas alternativas (resíduos)

5.5.1– Resíduos R-01,R-02,R-03,R-04 e R-05

a) com base na caracterização preliminar proposta por SOUZA SANTOS (1992), todas as composições incorporadas com até 40% de resíduos, após queima nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C, apresentaram potencial de utilização em cerâmica vermelha;

b) com base nos valores limites preconizados por SALGE & BARZAGHI (1992) para blocos maciços, blocos furados e telhas, todas as composições incorporadas com até 55% de resíduos apresentaram potencial de utilização para blocos maciços e blocos furados. Para telhas, todas as composições incorporadas com até 40% de resíduos;

c) com base na norma ABNT NBR 7170 (1983) para blocos maciços, todas as composições estudadas foram enquadradas como sendo: Classe A (resistência < 2,5 MPa) todos os blocos cerâmicos com composições incorporadas com 40 a 60% de resíduos; Classe B (resistência < 4,0MPa) todos os blocos cerâmicos com composições incorporadas com 20 a 35% resíduos. É interessante ressaltar que os blocos com adição de resíduos R-03, R-04 e R-05 em teores de 20%, apresentaram resistência à compressão que os enquadram na classe C (resistência > 4,0MPa);

d) em relação à norma ABNT NBR 7171 (1992) para blocos cerâmicos, todas as composições incorporadas com até 55% de resíduos apresentaram valores de absorção de água dentro da faixa especificada (8 a 25%), independentemente do resíduo utilizado. Em relação à resistência à compressão simples, todos blocos cerâmicos com incorporação entre 40 a 60% de resíduos foram enquadrados como Classe 15 (1,5MPa < resistência < 2,5MPa); todavia os blocos cerâmicos com 60% de resíduos apresentaram absorção superior ao máximo especificado,

tal como mencionado anteriormente. Já os blocos cerâmicos com 20 a 35% de resíduos foram enquadrados como Classe 25 ($2,5\text{MPa} < \text{resistência} < 4,5\text{MPa}$). Mais detalhadamente pode-se salientar que os blocos cerâmicos com adições dos resíduos R-03 e R-05, em teores de 20%, podem ser enquadrados como Classe 45 ($4,5\text{MPa} < \text{resistência} < 6,0\text{MPa}$).

e) com base na norma da ABNT NBR 9601 (1986) para telhas cerâmicas, todas as composições incorporadas com até 40% de resíduos foram adequadas para produção de telha.

CAPÍTULO VI

RESULTADOS E DISCUSSÃO

REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos para as massas aditivadas com resíduos oriundos da serragem de granitos para produção de revestimentos cerâmicos. A realização desta fase do trabalho incluiu quatro etapas. Na primeira etapa foram determinadas as composições de várias massas incorporadas com resíduos. Na segunda etapa, realizada em escala de laboratório, foram conformados corpos cerâmicos depois sinterizados nas temperaturas de 1150°C, 1175°C e 1200°C, seguindo-se a determinação das propriedades físico-mecânicas. Na terceira etapa foram realizados ensaios em escala piloto em indústria de revestimento cerâmico de acordo com as normas da ABNT, ISO, EN e Centro Cerâmico do Brasil (CCB) e na quarta última etapa foram efetuados ensaios de dilatação térmica e expansão por umidade (EPU).

6.1 – Composições das Massas Estudadas

As Tabelas 6.1 e 6.2 apresentam as massas alternativas incorporadas com os resíduos formuladas pelo uso do REFORMIX 2.0 e suas composições químicas.

6.2 – Propriedades Físico-mecânicas das Massas Alternativas em Escala de Laboratório

A Tabela 6.3 e Figura 6.1 apresentam os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos das massas alternativas incorporadas com resíduo R-01, para as temperaturas de sinterização de 1150°C, 1175°C e 1200°C.

TABELA 6.1- Composições das massas alternativas incorporadas com resíduos.

Massas	Resíduos	Argila (%)	Caulim (%)	Resíduo (%)	Feldspato (%)	Calcita (%)	Quartzo (%)
MPL-1	R 01	46	10	25	-	7	12
MPL2		24	15	31	-	10	20
MPL-3		41	10	35	-	5	9
MPL-4		45	12	38	-	2	3
MPL-5		25	15	30	-	10	20
MCA-1	R 02	32	12	30	23	3	-
MCA-2		32	10	21	31	6	-
MCA-3		26	10	35	26	3	-
MCA-4		30	15	25	25	5	-
MCA-5		27	12	15	43	3	-
MFG-1	R 03	34	12	40	-	4	10
MFG-2		35	15	35	-	5	10
MFG-3		41	13	30	-	4	12
MFG-4		48	10	25	-	5	12
MFG-5		23	32	31	-	10	20
MR-1	R 04	46	10	25	-	7	12
MR-2		30	14	34	-	15	7
MR-3		39	14	25	-	15	7
MR-4		26	15	31	-	8	20
MR-5		26	15	32	-	7	20
MF-1	R 05	30	11	40	-	10	9
MF-2		26	15	32	-	20	7
MF-3		35	10	30	-	18	7
MF-4		35	14	25	-	19	7
MF-5		24	15	35	-	18	8

TABELA 6.2- Composição química das massas alternativas incorporadas com resíduos.

Massas	Resíduos	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
MPL-1	R 01	62,00	22,17	5,21	0,26	7,00	1,60	1,76
MPL-2		63,00	18,28	4,00	0,42	11,00	1,52	1,77
MPL-3		62,00	22,00	5,52	0,21	6,39	1,80	2,08
MPL-4		61,00	24,38	6,00	0,11	4,38	1,91	2,22
MPL-5		62,21	18,41	4,00	0,43	11,00	1,51	1,75
MCA-1	R 02	68,67	21,51	2,47	0,10	4,00	1,20	2,05
MCA-2		65,00	23,00	2,46	0,23	5,39	1,39	2,53
MCA-3		67,61	20,88	2,01	0,12	6,00	1,20	2,18
MCA-4		65,67	23,40	2,35	0,21	5,01	1,22	2,14
MCA-5		65,14	24,54	2,10	0,12	4,00	1,64	3,30
MFG-1	R 03	62,59	22,00	5,35	0,14	5,71	2,09	2,12
MFG-2		62,00	23,00	5,13	0,17	6,00	1,94	1,95
MFG-3		62,00	23,00	5,15	0,18	6,00	1,84	1,83
MFG-4		62,00	19,00	4,23	0,41	11,00	1,68	1,68
MFG-5		62,08	19,30	3,88	0,41	11,00	1,66	1,67
MR-1	R 04	61,69	23,00	6,00	0,18	5,46	1,62	2,04
MR-2		62,94	20,45	5,03	0,30	8,00	1,45	1,82
MR-3		62,23	21,81	5,00	0,30	7,58	1,37	1,60
MR-4		64,00	19,29	4,50	0,30	8,00	1,35	1,70
MR-5		64,00	19,27	4,50	0,40	9,00	1,35	1,70
MF-1	R 05	58,00	19,63	6,01	0,38	12,00	2,36	1,84
MF-2		62,39	19,11	5,00	0,30	9,60	2,01	1,58
MF-3		62,00	19,22	5,42	0,30	9,41	2,04	1,61
MF-4		62,00	20,43	5,00	0,30	8,98	1,83	1,46
MF-5		62,00	19,00	5,16	0,31	10,00	2,11	1,65

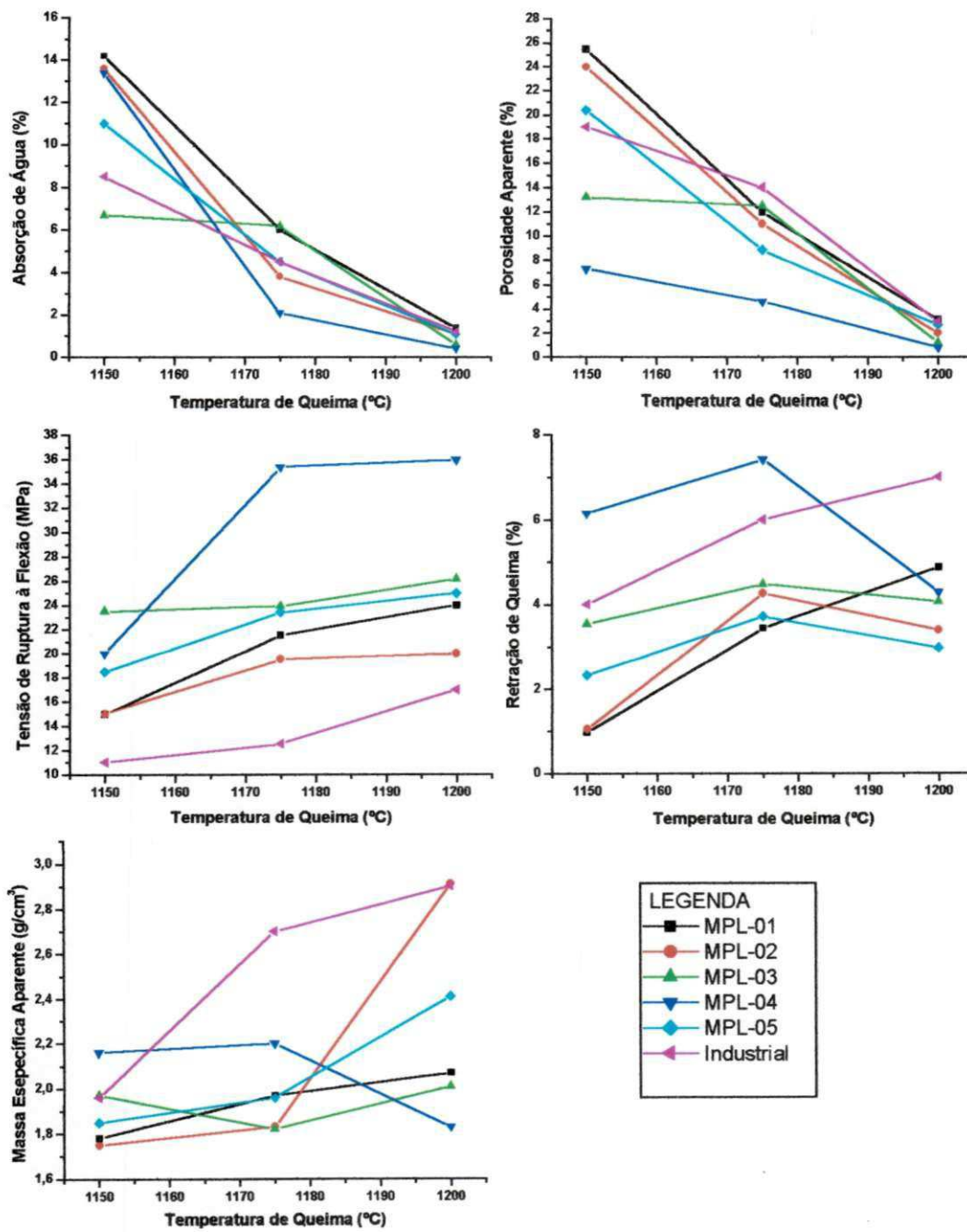


FIGURA 6.1 – Propriedades físico-mecânicas para massas incorporadas com resíduo R-01.

TABELA 6.3 – Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com resíduo R-01.

Massas	T.Queima (°C)	AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	TRF (MPa)	RQ (%)
MPL-1	1150	14,20 ± 0,09	25,50	1,78	15,00 ± 0,54	0,97
	1175	6,00 ± 0,29	12,00	1,97	21,55 ± 0,79	3,44
	1200	1,40 ± 0,39	3,10	2,07	24,02 ± 0,89	4,88
MPL-2	1150	13,60 ± 0,17	24,00	1,75	15,00 ± 2,09	1,05
	1175	3,80 ± 0,29	11,00	1,83	19,52 ± 0,79	4,26
	1200	1,10 ± 0,08	2,00	2,91	20,00 ± 0,89	3,39
MPL-3	1150	6,70 ± 0,19	13,20	1,97	23,50 ± 0,99	3,54
	1175	6,20 ± 0,15	12,50	1,82	23,92 ± 0,89	4,47
	1200	0,60 ± 0,05	1,20	2,01	26,15 ± 1,14	4,07
MPL-4	1150	13,40 ± 0,13	7,30	2,16	20,00 ± 1,09	6,15
	1175	2,10 ± 0,09	4,60	2,20	35,40 ± 0,69	7,43
	1200	0,40 ± 0,03	0,80	1,84	36,00 ± 1,30	7,60
MPL-5	1150	11,00 ± 0,25	20,40	1,85	18,46 ± 0,89	2,33
	1175	4,50 ± 0,08	8,90	1,96	23,42 ± 1,09	3,71
	1200	1,10 ± 0,03	2,70	2,41	25,00 ± 0,79	2,98
Padrão Industrial	1150	8,50 ± 0,10	19,00	1,96	11,00 ± 1,19	4,00
	1175	4,50 ± 0,20	14,00	2,70	12,00 ± 0,89	6,00
	1200	1,20 ± 0,30	3,00	2,90	17,00 ± 0,79	7,90

AA - Absorção de Água; PA - Porosidade Aparente; MEA - Massa Específica Aparente; RQ - Retração de Queima; TRF - Tensão de Ruptura à Flexão.

Observando os valores contidos na Tabela 6.3 e na Figura 6.1 verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores máximos de absorção de água de 14,20% (massa MPL-1), 6,20% (massa MPL-3) e 1,40% (massa MPL-1) para as temperaturas de sinterização de 1150°C, 1175°C e 1200°C respectivamente, sendo classificados de acordo com as especificações da ABNT NBR 13818 (1997) para temperatura 1150°C como um material poroso (Grupo BIII). Para temperatura de 1175°C os corpos cerâmicos foram classificados com sendo material semi-poroso (Grupo BIIB), com exceção dos corpos cerâmicos compostos pelas as massas MPL-2, MPL-4 e MPL-5 que foram classificados com sendo semi-grés (grupo BIIa) por apresentarem absorção de água entre 3% e 6%. Para a temperatura de 1200° C os corpos cerâmicos foram classificados como sendo do tipo grés (grupo BIb) por apresentarem absorção de água entre 0,5% e

3%. Comparando esses resultados com os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos das massas incorporadas com resíduos de granito e basalto determinados por ROSA et al. (1999), verifica-se que são superiores para temperatura de 1175°C.

Para tensão de ruptura à flexão valores contidos na Tabela 6.3 e na Figura 6.1 verifica-se que os corpos cerâmicos apresentaram valor mínimo de 11,00 MPa (Massa MPL-5), 12,00 MPa (massa MPL-5) e 17,00 MPa (massa MPL-05) para as temperaturas de sinterização de 1150°C, 1175°C e 1200°C respectivamente, sendo classificados de acordo com as especificações da ABNT NBR 13818 (1997) para temperatura de sinterização 1150°C como um material poroso (grupo BIII). Para as temperaturas de sinterização de 1175°C e 1200°C os corpos cerâmicos foram classificados como sendo um material semi-poroso (grupo BIIb) com exceção dos corpos cerâmicos da massa MPL-4 que foram classificados com sendo um material semi-grés (grupo BIIa) por apresentarem comportamento mecânico entre 32 MPa e 35 MPa. Com relação ao padrão industrial tomado como referência, verifica-se que os corpos cerâmicos incorporados com resíduo apresentaram valores similares para absorção de água nas temperaturas de 1175°C e 1200°C. Para tensão de ruptura à flexão os valores foram superiores ao padrão para todas as temperaturas. Observa-se também que as diferenças de absorção acentuam-se a partir dos corpos cerâmicos sinterizados a 1175°C, uma vez que nesta temperatura, o resíduo de granito já apresenta sinterização elevada, contribuindo, portanto, de maneira marcante nas composições onde é adicionada. Pode-se observar também que os níveis de absorção de água na faixa de 0 a 5%, que ocorrem após queima à 1200°C são característicos de grés cerâmicos.

A Tabela 6.4 e a Figura 6.2 apresentam os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos das massas alternativas incorporadas com resíduo R-02, para as temperaturas de sinterização de 1150°C, 1175°C e 1200°C.

TABELA 6.4 – Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com resíduo R-02.

Massas	T.Queima (°C)	AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	TRF (MPa)	RQ (%)
MCA-1	1150	14,20 ± 0,25	25,80	1,81	9,10 ± 1,15	2,44
	1175	7,10 ± 0,05	14,60	2,04	19,57 ± 0,98	5,87
	1200	2,80 ± 0,29	6,20	2,21	26,39 ± 0,44	8,55
MCA-2	1150	16,80 ± 0,21	25,90	1,71	3,47 ± 0,81	0,96
	1175	6,10 ± 0,80	12,40	2,02	9,83 ± 0,45	4,75
	1200	1,70 ± 0,28	3,90	2,20	11,93 ± 0,89	7,06
MCA-3	1150	16,20 ± 0,21	28,00	1,73	7,78 ± 0,51	2,08
	1175	7,00 ± 0,06	14,00	2,00	18,65 ± 0,77	5,51
	1200	2,80 ± 0,18	6,10	2,18	26,68 ± 0,44	8,15
MCA-4	1150	18,00 ± 0,39	30,70	1,71	6,91 ± 0,50	0,96
	1175	12,40 ± 0,21	23,00	1,82	8,90 ± 0,87	2,44
	1200	3,10 ± 0,42	7,10	2,16	17,52 ± 0,89	7,17
MCA-5	1150	15,20 ± 0,13	27,30	1,79	7,16 ± 0,54	1,00
	1175	5,80 ± 0,31	12,20	2,07	8,81 ± 0,88	4,91
	1200	1,20 ± 0,12	3,10	2,26	20,54 ± 0,44	7,68
Padrão industrial	1150	8,50 ± 0,01	19,00	1,96	11,00 ± 1,21	4,00
	1175	4,50 ± 0,11	14,00	2,70	12,00 ± 0,98	6,00
	1200	1,20 ± 0,32	3,00	2,90	17,00 ± 1,51	2,90

ND – Não determinado; AA - Absorção de Água; PA - Porosidade Aparente; MEA - Massa Específica Aparente; RQ - Retração de Queima; TRF - Tensão de ruptura à flexão.

Observando os valores contidos na Tabela 6.4 e na Figura 6.2 verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores máximos de absorção de água de 18,00% (massa MCA-4), 12,40% (massa MCA-4) e 2,80% (massas MCA-1 e MCA-3) para as temperaturas de sinterização de 1150°C, 1175°C e 1200°C respectivamente, sendo classificados de acordo com as especificações da ABNT NBR 13818 (1997) para temperatura de 1150°C como um material poroso (Grupo BIII). Para temperatura de 1175°C os corpos cerâmicos foram classificados com sendo semi-poroso (Grupo BIIB), por apresentarem absorção de água entre 6% e 10%, com exceção do corpo cerâmico da massa MCA-4.

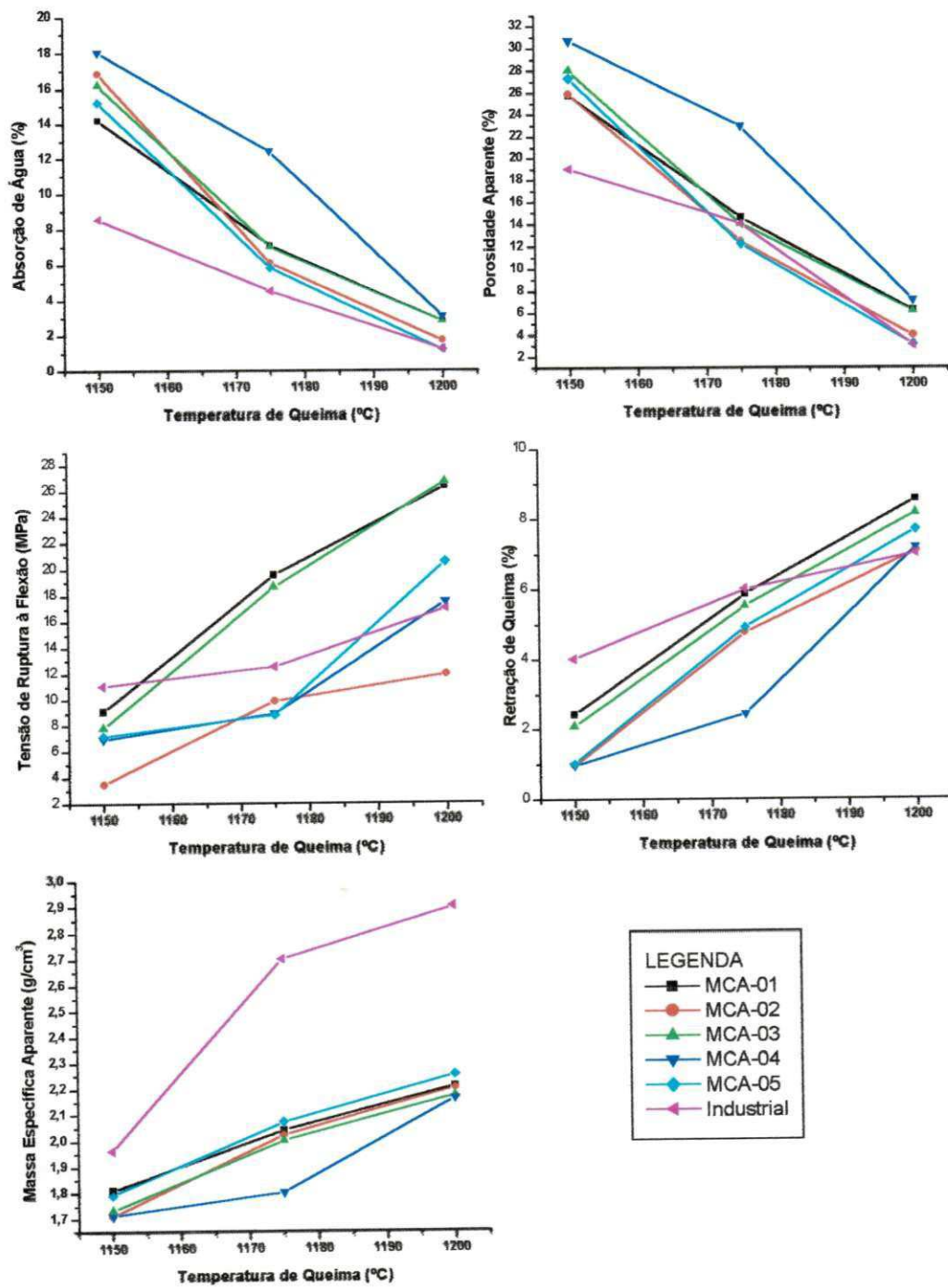


FIGURA 6.2 – Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com resíduo R-02.

Para temperatura de sinterização de 1200°C os corpos cerâmicos foram classificados como sendo do tipo grés (grupo B1b) por apresentarem absorção de água entre 0,5% e 3%. Comparando esses resultados com os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos das massas incorporadas com resíduos de granito e basalto determinados por ROSA et al. (1999), verifica-se que são superiores para temperatura de 1175°C.

Para tensão de ruptura à flexão os valores contidos na Tabela 6.4 e na Figura 6.2 verifica-se que os corpos cerâmicos apresentaram valores mínimo de 3,47 MPa (massa MCA-2), 8,81 MPa (Massa MCA-5) e 11,93 MPa (massa MCA-2) para as temperaturas de sinterização de 1150°C, 1175°C e 1200°C respectivamente, sendo classificados de acordo com as especificações da ABNT NBR 13818 (1997) para as temperaturas de 1175°C e 1200°C como sendo um material semi-poroso (grupo B1b), com exceção dos corpos cerâmicos das massas MCA-2, MCA-4. Os corpos cerâmicos na temperatura de 1150°C apresentaram comportamento mecânico inferior aos especificados pela norma (15 MPa). Com relação ao padrão industrial tomado como referência, verifica-se que os corpos cerâmicos incorporados com resíduos apresentaram valores superiores de absorção de água para temperatura de 1175°C e similares para 1200°C. Para tensão de ruptura à flexão foram similares ao padrão para temperatura de 1200°C e superiores para as massas MCA-1e MAC-3. Observa-se também comportamento idêntico para os corpos cerâmicos incorporados com resíduo R 01 e diferenças acentuadas de absorção de água e tensão de ruptura à flexão a partir de temperatura de 1175°C.

A Tabela 6.5 e Figura 6.3 apresentam os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos das massas alternativas incorporadas com resíduo R-03, para as temperaturas de sinterização de 1150°C, 1175°C e 1200°C.

Observando os valores contidos na Tabela 6.5 e na Figura 6.3 verifica-se que os corpos cerâmicos estudados com resíduo R-03 apresentaram valores máximos de absorção de água de 16,00% (massa MFG-1), 7,90% (massa MFG-5) e 1,10% (massa MFG-4) para as temperaturas de sinterização de 1150°C, 1175°C e 1200°C respectivamente, sendo classificados de acordo com as especificações da ABNT NBR 13818 (1997) para temperatura de 1150°C como

um material poroso (Grupo BIII), com exceção dos corpos cerâmicos compostos pelas as massas MFG-2 e MGF-3 que foram classificados com sendo semi-porosos (grupo BIIb).

TABELA 6.5 – Propriedades físico-mecânicas das massas alternativas incorporadas com resíduo R-03.

Massas	T. Queima (°C)	AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	TRF (MPa)	RQ (%)
MFG-1	1150	16,00 ± 0,20	27,70	1,79	11,57 ± 0,96	1,20
	1175	3,10 ± 0,51	6,80	2,17	22,49 ± 0,97	6,58
	1200	0,30 ± 0,01	0,80	2,31	30,54 ± 1,06	7,83
MFG-2	1150	8,40 ± 0,22	16,90	1,99	22,02 ± 0,50	4,28
	1175	4,60 ± 0,04	9,70	2,06	22,46 ± 0,65	5,01
	1200	0,50 ± 0,05	1,20	2,20	25,37 ± 0,44	6,18
MFG-3	1150	7,60 ± 0,18	15,60	2,03	22,25 ± 1,21	4,61
	1175	7,10 ± 0,01	15,10	2,06	21,33 ± 1,01	4,77
	1200	0,70 ± 0,07	1,70	2,31	28,09 ± 1,96	7,45
MFG-4	1150	13,00 ± 0,20	23,80	1,84	12,39 ± 0,44	2,80
	1175	3,00 ± 0,07	6,40	2,14	24,00 ± 0,77	5,87
	1200	1,10 ± 0,01	2,50	2,25	25,00 ± 2,01	7,80
MFG-5	1150	13,60 ± 0,26	24,40	1,78	13,07 ± 0,89	1,75
	1175	7,90 ± 0,11	15,30	1,93	18,00 ± 0,21	3,12
	1200	0,60 ± 0,06	2,10	3,29	22,71 ± 0,23	5,70
Padrão Industrial	1150	8,50 ± 0,21	19,00	1,96	11,00 ± 0,81	4,00
	1175	4,50 ± 0,31	14,00	2,70	12,00 ± 1,21	6,00
	1200	1,20 ± 0,81	3,00	2,90	17,00 ± 1,51	2,90

AA - Absorção de Água; PA - Porosidade Aparente; MEA - Massa Específica Aparente; RQ - Retração de Queima; TRF - Tensão de Ruptura à Flexão.

Para temperatura de 1175°C os corpos cerâmicos foram classificados com sendo semi-porosos (Grupo BIIb), com exceção dos corpos cerâmicos compostos pelas as massas MFG-1, MFG-2 e MGF-4 que foram classificados com sendo semi-grés (grupo BIIa) por apresentarem absorção de água entre 3% e 6%. Para temperatura de 1200°C os corpos cerâmicos foram classificados como sendo do tipo grés (grupo BIb) por apresentarem absorção de água entre 0,5% e 3%.

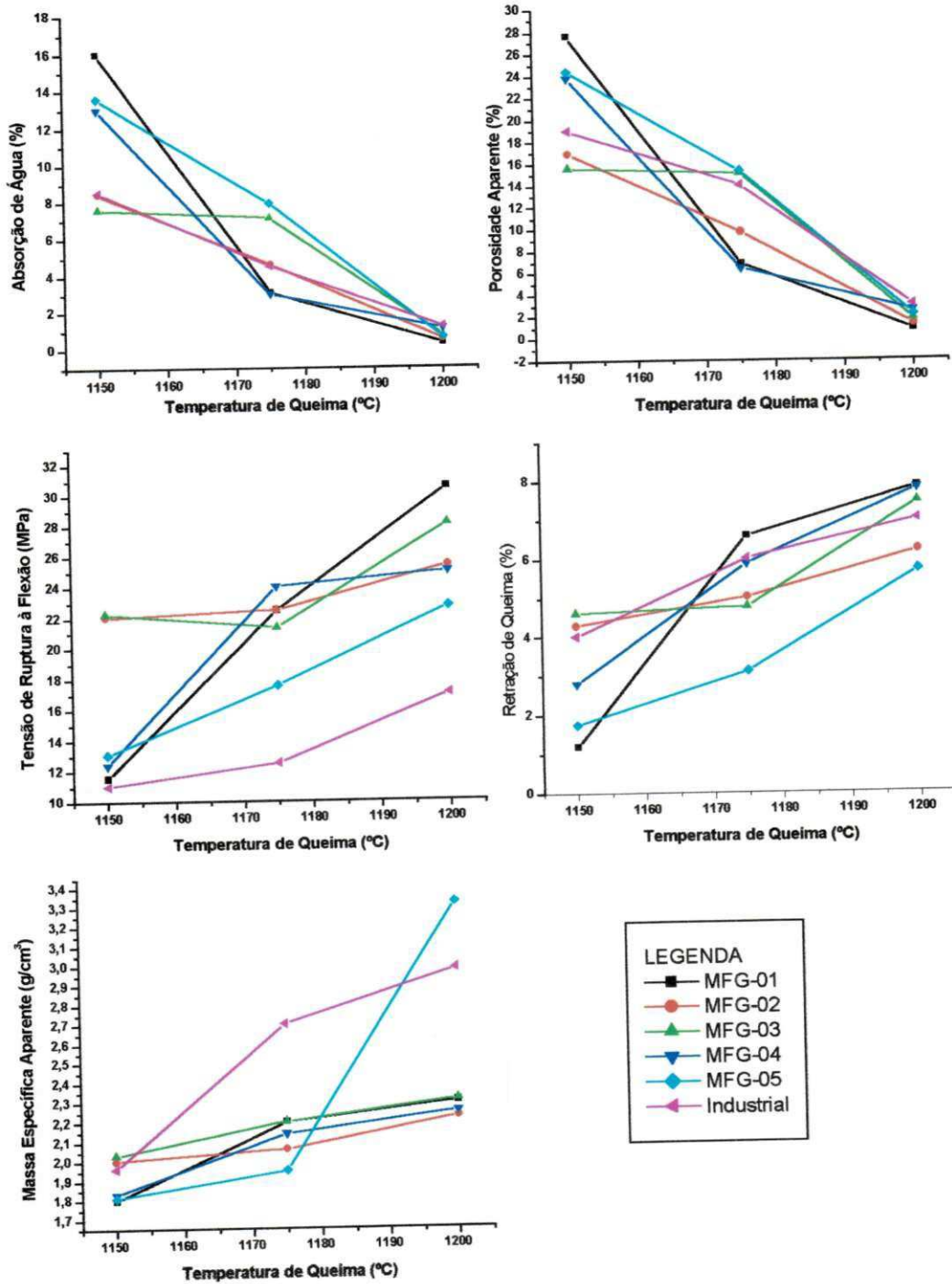


FIGURA 6.3 – Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com resíduo R-03.

Comparando esses resultados com os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos das massas incorporadas com resíduos de granito e basalto determinados por ROSA et al. (1999), verifica-se que são superiores para temperatura de 1175° C e similares para temperatura de 1200° C.

Para tensão de ruptura à flexão valores contidos na Tabela 6.5 e na Figura 6.3 verifica-se que os corpos cerâmicos apresentaram valores mínimo de 11,57 MPa (Massa MFG-1), 18,00 MPa (massa MFG-5) e 22,71 MPa (massa MFG-5) para as temperaturas de sinterização de 1150° C, 1175° C e 1200° C respectivamente, sendo classificados de acordo com as especificações da ABNT NBR 13818 (1997) para temperatura de sinterização 1150° C como um material poroso (grupo BIII), com exceção das massas MFG-2 e MFG-3. Para as temperaturas de 1175° C e 1200° C os corpos cerâmicos foram classificados como sendo um material semi-poroso (grupo BIIB) por apresentarem comportamento mecânico entre 18 MPa e 30 MPa. Com relação ao padrão industrial tomado como referência, verifica-se que os corpos cerâmicos incorporados com resíduos apresentaram valores inferiores de absorção de água para as massas MFG-1, MFG-2 e MFG-4 na temperatura de 1175° C e similares para 1200° C. Para tensão de ruptura à flexão todos valores foram superiores ao padrão para todas as temperaturas. Observa-se também comportamentos idênticos para os corpos cerâmicos das massas anteriores incorporadas com os resíduos R 01 e R 02 e diferenças acentuadas de absorção de água e tensão de ruptura à flexão a partir da temperatura de 1175° C.

A Tabela 6.6 e Figura 6.4 apresentam os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos das massas alternativas incorporadas com resíduo R-04, para as temperaturas de sinterização de 1150° C, 1175° C e 1200° C.

Observando os valores contidos na Tabela 6.6 e na Figura 6.4 verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores máximos de absorção de água de 20,50% (massa MR-4), 9,70% (massa MR-4) e 5,30% (massa MR-3) para as temperaturas de sinterização de 1150° C, 1175° C e 1200° C respectivamente, sendo classificados de acordo com as especificações da ABNT NBR 13818 (1997) para temperatura de 1150° C como um material poroso (Grupo BIII). Para temperatura de 1175° C os corpos cerâmicos foram classificados com

sendo semi-porosos (Grupo BIIb) por apresentarem absorção de água entre 6% e 10%. Para temperatura de 1200°C os corpos cerâmicos foram classificados como sendo do tipo grés (grupo BIb) por apresentarem absorção de água entre 0,5% e 3%, com exceção dos corpos cerâmicos da massa MR-3.

TABELA 6.6 – Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com resíduo R-04.

Massas	T. Queima (°C)	AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	TRF (MPa)	RQ (%)
MR-1	1150	12,40 ± 0,23	22,70	1,83	15,68 ± 0,58	0,98
	1175	6,10 ± 0,04	12,30	2,02	22,69 ± 0,93	3,10
	1200	2,60 ± 0,01	5,60	2,17	35,31 ± 0,68	3,98
MR-2	1150	11,90 ± 0,26	21,80	1,83	20,25 ± 0,83	0,97
	1175	5,90 ± 0,33	12,20	2,06	21,00 ± 0,93	3,62
	1200	3,20 ± 0,24	8,00	2,47	29,89 ± 1,34	4,41
MR-3	1150	15,60 ± 0,19	26,50	1,69	15,96 ± 0,53	0,10
	1175	6,70 ± 0,03	13,70	2,02	23,04 ± 0,93	3,95
	1200	5,30 ± 0,04	11,00	2,08	23,11 ± 1,34	4,31
MR-4	1150	20,50 ± 0,03	34,40	1,68	7,00 ± 1,23	-0,09
	1175	9,70 ± 0,24	18,60	1,93	18,00 ± 0,93	3,24
	1200	2,20 ± 0,03	4,90	2,16	24,02 ± 0,83	4,60
MR-5	1150	12,30 ± 0,05	23,00	1,86	11,37 ± 0,73	0,88
	1175	7,90 ± 0,05	21,80	2,76	13,00 ± 0,53	2,03
	1200	1,20 ± 0,03	4,20	3,39	20,43 ± 0,84	4,97
Padrão Industrial	1150	8,50 ± 0,07	19,00	1,96	11,00 ± 1,10	4,00
	1175	4,50 ± 0,26	14,00	2,70	12,00 ± 0,43	6,00
	1200	1,20 ± 0,83	3,00	2,90	17,00 ± 0,87	2,90

ND – Não determinado; AA - Absorção de Água; PA - Porosidade Aparente; MEA - Massa Específica Aparente; RQ - Retração de Queima; TRF - Tensão de Ruptura à Flexão.

Comparando esses resultados com os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos das massas incorporadas com resíduos de granito e basalto determinados por ROSA et al. (1999), verifica-se que são superiores para temperatura de 1175°C.

Para tensão de ruptura à flexão valores contidos na Tabela 6.6 e na Figura 6.4 verifica-se que os corpos cerâmicos apresentaram valor mínimo de 7,00 MPa (Massa MR-4), 13,00 MPa (massa MR-5) e 20,43 MPa (massa MR-5) para as temperaturas de 1150°C, 1175°C e 1200°C respectivamente, sendo classificados de acordo com as especificações da ABNT NBR 13818 (1997) para temperatura de 1150°C como um material poroso (grupo BIII), com exceção das massas MR-4 e MR-5. Para as temperaturas de 1175°C e 1200°C os corpos cerâmicos foram classificados como sendo um material semi-poroso (grupo BIIb) por

apresentarem comportamento mecânico entre 18MPa e 30MPa, com exceção da massa MR-5 para temperatura de 1175°C. Com relação ao padrão industrial tomado como referência, verifica-se que os corpos cerâmicos incorporados com resíduos apresentaram valores superiores de absorção de água para todas as composições sinterizados nas temperaturas de 1175°C e 1200°C.

Para tensão de ruptura à flexão todos valores foram superiores ao padrão para todas as temperaturas com exceção dos corpos cerâmicos da massa MR-4. Observa-se também comportamentos idênticos aos corpos cerâmicos das massas anteriores incorporadas com os resíduos R-01, R-02 e R-03 e diferenças acentuadas de absorção de água e tensão de ruptura à flexão a partir de temperatura de 1175°C.

A Tabela 6.7 e a Figura 6.5 apresentam os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos das massas alternativas incorporadas com resíduo R-05, para as temperaturas de sinterização de 1150°C, 1175°C e 1200°C.

Observando os valores contidos na Tabela 6.7 e na Figura 6.5 verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores máximos de absorção de água de 24,40% (massa MF-5), 19,60% (massa MF-5) e 2,30% (massa MF-4) para as temperaturas de sinterização de 1150°C, 1175°C e 1200°C respectivamente, sendo classificados de acordo com as especificações da ABNT NBR 13818 (1997) para temperatura de 1175°C como um material poroso (Grupo BIII). Para temperatura de 1200° C os corpos cerâmicos foram classificados com sendo grés (Grupo BIb) por apresentarem absorção de água entre 0,5% e 3%. Para temperatura de 1150°C os corpos cerâmicos apresentaram valores de absorção de água superiores a 20,00%, com exceção dos corpos cerâmicos da massa MF-1 que foi classificada como sendo porosa. Comparando esses resultados com os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos das massas incorporadas com resíduos de granito e basalto determinados por ROSA et al. (1999), verifica-se que são superiores para temperatura de 1175°C.

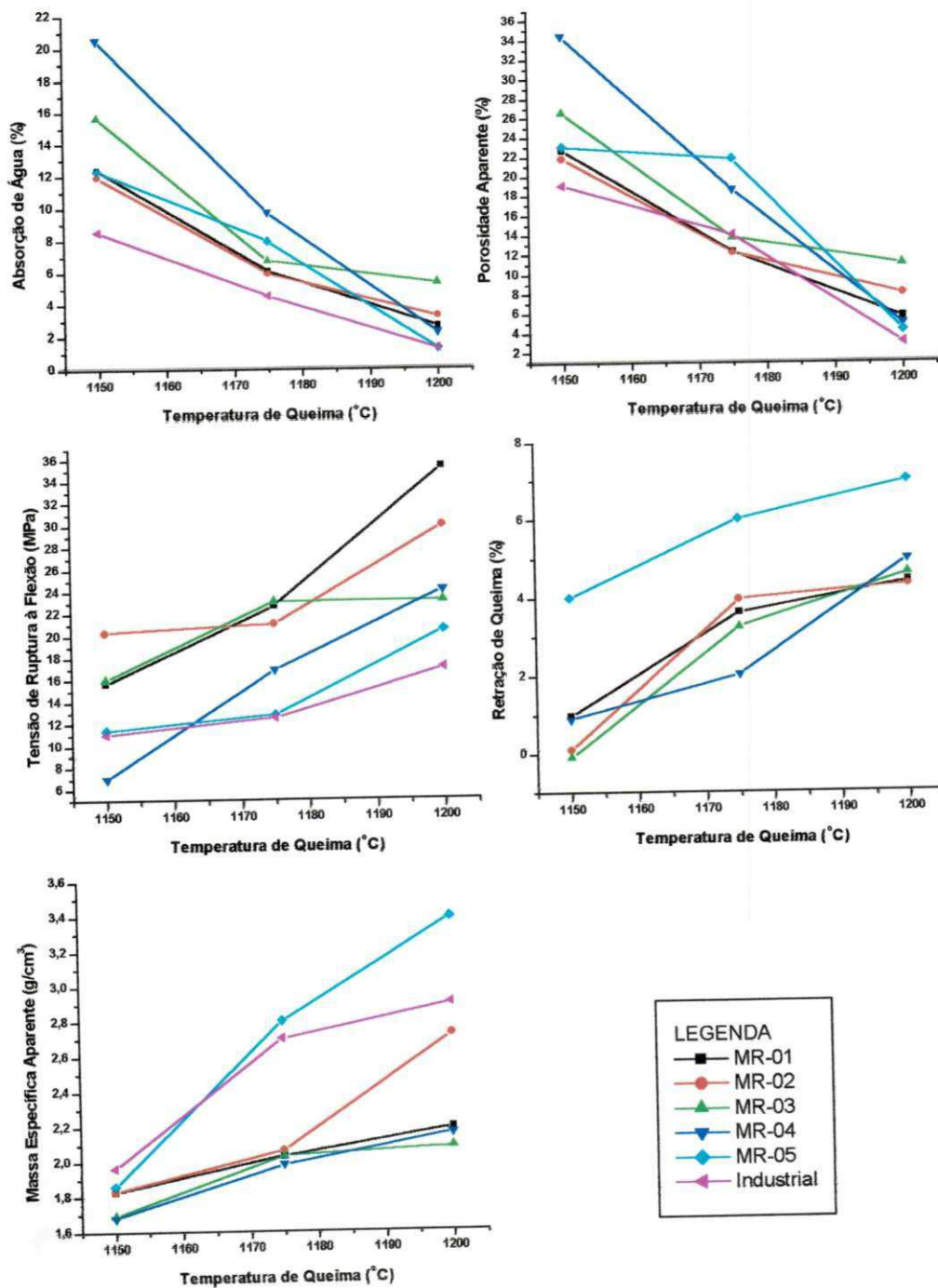


FIGURA 6.4 – Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com resíduo R-04.

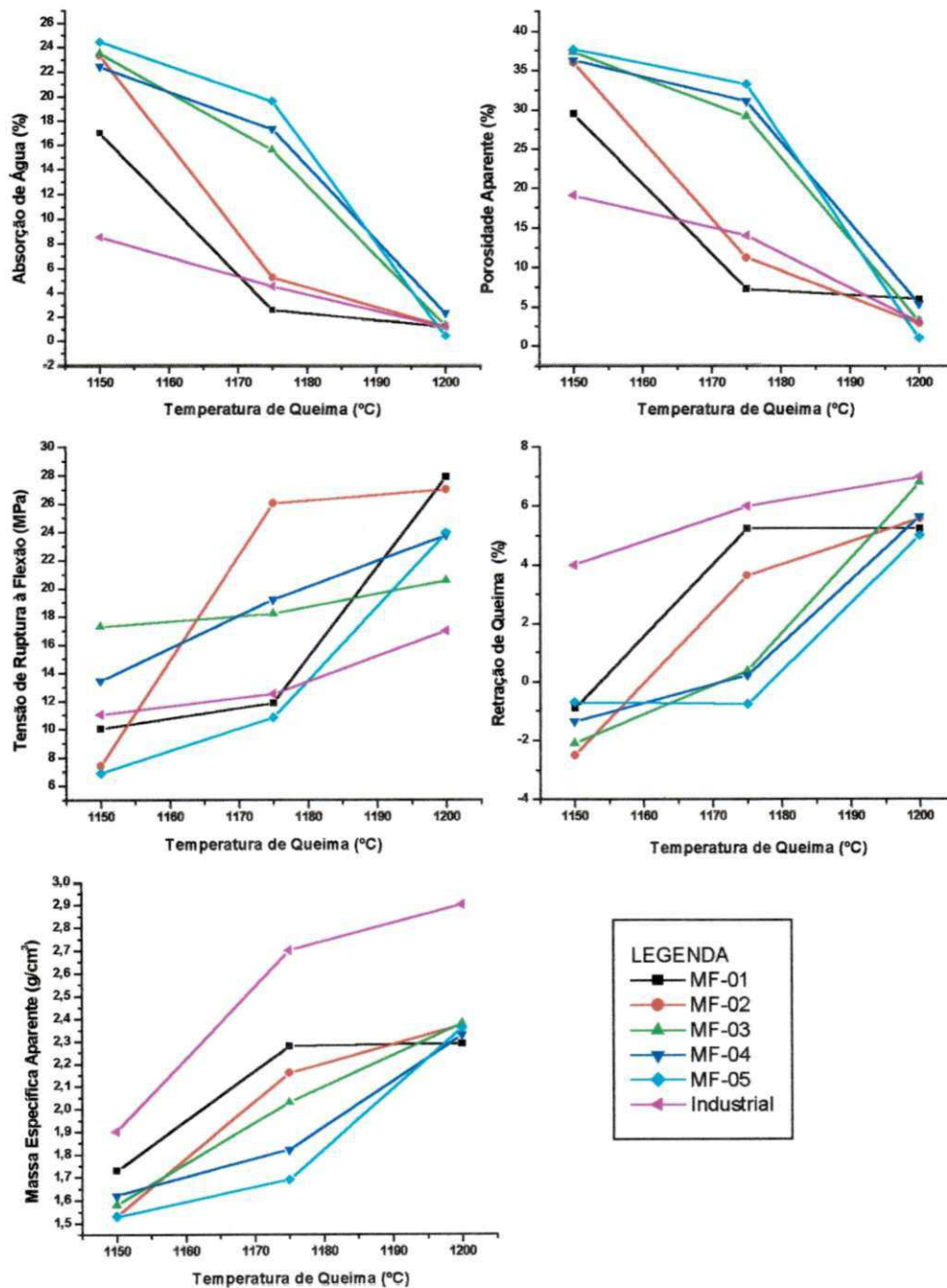


FIGURA 6.5 – Propriedades físico-mecânicas para massas incorporadas com resíduo R-05.

TABELA 6.7 – Propriedades físico-mecânicas das massas alternativas incorporadas com resíduo R-05.

Massas	T.Queima (°C)	AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	TRF (MPa)	RQ (%)
MF-1	1150	17,00 ± 0,32	29,50	1,73	10,03 ± 0,98	-0,89
	1175	12,60 ± 0,15	26,00	2,07	11,87 ± 0,75	5,25
	1200	1,20 ± 0,11	7,30	2,29	27,95 ± 0,44	5,25
MF-2	1150	23,30 ± 0,01	35,90	1,53	7,39 ± 0,55	-2,52
	1175	15,20 ± 0,45	21,20	1,40	26,02 ± 0,91	3,63
	1200	1,20 ± 0,27	2,90	2,37	27,00 ± 1,30	5,58
MF-3	1150	23,50 ± 0,01	37,30	1,58	17,29 ± 0,57	-2,09
	1175	15,60 ± 0,24	29,20	1,90	18,23 ± 0,43	0,37
	1200	1,30 ± 0,26	3,20	2,38	20,56 ± 0,18	6,82
MF-4	1150	22,40 ± 0,51	36,30	1,62	15,00 ± 1,21	-1,34
	1175	17,30 ± 0,41	31,10	1,79	19,23 ± 0,92	0,23
	1200	2,30 ± 0,01	5,40	2,33	23,82 ± 0,83	5,65
MF-5	1150	24,40 ± 0,04	37,60	1,53	6,89 ± 0,81	-0,76
	1175	19,60 ± 0,61	33,30	1,69	10,85 ± 1,02	-0,77
	1200	0,40 ± 0,01	1,00	2,39	23,97 ± 0,82	5,01
Padrão Industrial	1150	8,50 ± 0,32	19,00	1,96	11,00 ± 0,51	4,00
	1175	4,50 ± 0,51	14,00	2,70	12,00 ± 0,71	6,00
	1200	1,20 ± 0,12	3,00	2,90	17,00 ± 1,21	2,90

ND – Não Determinado; AA - Absorção de Água; PA - Porosidade Aparente; MEA - Massa Específica Aparente; RQ - Retração de Queima; TRF - Tensão de Ruptura à Flexão.

Para tensão de ruptura à flexão valores contidos na Tabela 6.7 e na Figura 6.5 verifica-se que os corpos cerâmicos apresentaram valor mínimo de 6,89 MPa (Massa MF-5), 10,85 MPa (massa MF-5) e 20,56 MPa (massa MF-3) para as temperaturas de sinterização de 1150° C, 1175° C e 1200° C respectivamente, sendo classificados de acordo com as especificações da ABNT NBR 13818 (1997) para temperatura de 1150° C como um material poroso (grupo BIII) apenas os corpos cerâmicos das massas MF3 e MF4. Para as temperaturas de 1175°C e 1200°C os corpos cerâmicos foram classificados como sendo um material semi-poroso (grupo BIIB) por apresentarem comportamento mecânico entre 18 MPa e 30 MPa, com exceção da massa MF-1 e MF-5 para temperatura de 1175°C. Com relação ao padrão industrial tomado como referência, verifica-se que os corpos cerâmicos incorporados com resíduos apresentaram valores superiores de absorção de água para todas as composições sinterizadas na temperatura de 1175°C, com exceção da massa MF-1 e similares para temperatura de 1200°C. Para tensão de ruptura à flexão todos valores foram superiores ao padrão para todas as temperaturas com exceção dos corpos cerâmicos da massa MF-5.

Observa-se também comportamentos idênticos aos corpos cerâmicos das massas anteriores incorporadas com os resíduos R-01, R-02, R-03 e R-04 e diferenças acentuadas de absorção de água e tensão de ruptura à flexão a partir de temperatura de 1175°C.

6.3 – Propriedades Físico-Mecânicas das Massas Alternativas em Escala de Piloto

A Tabela 6.8 e as Figuras 6.6, 6.6.1, 6.6.2 e 6.6.3 apresentam os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com resíduos após tratamento térmico em escala piloto e as micrografias das massas MPL3 e MPL-4, bem como seu aspecto visual.

Observando os valores contidos na Tabela 6.8 e nas Figuras 6.6 e 6.6.1, verifica-se que os corpos cerâmicos estudados em escala industrial apresentaram valores máximos de absorção de água de 27,50% (massa MF-2) e mínima de 11,10% (massa MPL-3), sendo classificados de acordo com as especificações da ABNT NBR 13818 (1997) como corpos cerâmicos monoporoso (Grupo BIII), com exceção das massas MPL-4, MF-2, MF-3 e MF-4 como semi-porosos (BIIB). Para tensão de ruptura à flexão valores contidos na Tabela 6.8 e nas Figuras 6.6 e 6.6.1, verifica-se que os corpos cerâmicos apresentaram valores máximo de 22,05 MPa (massa MFG-2) e mínimas de 3,28 MPa (massa MF-2), sendo classificado de acordo com as especificações da ABNT NBR 13818 (1997) todos os corpos cerâmicos incorporados com as massas R-01 e R-03 como sendo monoporoso (grupo BIII) com exceção dos corpos cerâmicos das massas MPL-3, MPL-4 e MFG-4 que foram classificados como sendo semi-porosos (BIIB).

A Figura 6.6.2 apresenta as micrografias dos corpos cerâmicos das massas MPL-3 e MPL-4 sinterizados a 1150° C em escala piloto.

A Figura 6.6.3 apresenta o aspecto visual dos corpos cerâmicos incorporados com resíduos após tratamento térmico em laboratório e escala piloto.

TABELA 6.8 - Propriedades físico-mecânicas das massas alternativas incorporadas com resíduos em escala piloto.

Massas	Resíduos	AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	TRF (MPa)
MPL-1	R 01	13,20 ± 0,63	24,40	1,83	15,00 ± 0,86
MPL2		18,00 ± 0,23	30,30	1,68	15,00 ± 1,23
MPL-3		11,10 ± 0,28	21,20	1,90	19,43 ± 0,83
MPL-4		8,86 ± 0,53	17,90	2,03	22,67 ± 2,23
MPL-5		17,9 ± 0,03	31,30	1,68	15,00 ± 0,83
MCA-1	R 02	17,3 ± 0,72	30,00	1,72	8,25 ± 0,49
MCA-2		16,2 ± 0,03	28,60	1,74	9,12 ± 0,73
MCA-3		16,6 ± 0,43	29,10	1,75	8,15 ± 0,93
MCA-4		17,0 ± 0,63	28,90	1,74	7,97 ± 1,63
MCA-5		17,0 ± 0,05	29,70	1,75	7,51 ± 0,98
MFG-1	R 03	13,7 ± 0,82	25,90	1,85	22,05 ± 0,73
MFG-2		13,3 ± 0,08	25,40	1,84	17,73 ± 0,98
MFG-3		12,7 ± 0,63	23,90	1,87	15,00 ± 0,86
MFG-4		11,6 ± 0,73	22,10	1,89	19,38 ± 1,43
MFG-5		18,2 ± 0,04	30,60	1,67	15,00 ± 0,93
MR-1	R 04	13,3 ± 0,23	24,80	1,85	15,75 ± 0,83
MR-2		18,9 ± 0,53	31,40	1,65	9,09 ± 0,89
MR-3		16,6 ± 1,23	28,20	1,70	10,92 ± 1,67
MR-4		19,2 ± 0,08	32,40	1,68	7,07 ± 0,69
MR-5		18,2 ± 0,92	31,20	1,72	6,21 ± 0,72
MF-1	R 05	16,5 ± 0,82	29,00	1,77	12,39 ± 0,42
MF-2		27,5 ± 0,62	42,40	1,54	3,28 ± 0,23
MF-3		25,6 ± 0,93	40,10	1,56	4,29 ± 0,12
MF-4		17,2 ± 0,89	36,10	1,60	7,28 ± 0,23
MF-5		23,7 ± 0,09	37,90	1,61	5,08 ± 0,26

ND – Não Determinado; AA - Absorção de Água; PA - Porosidade Aparente; MEA - Massa Específica Aparente; RQ - Retração de Queima; TRF - Tensão de Ruptura à Flexão.

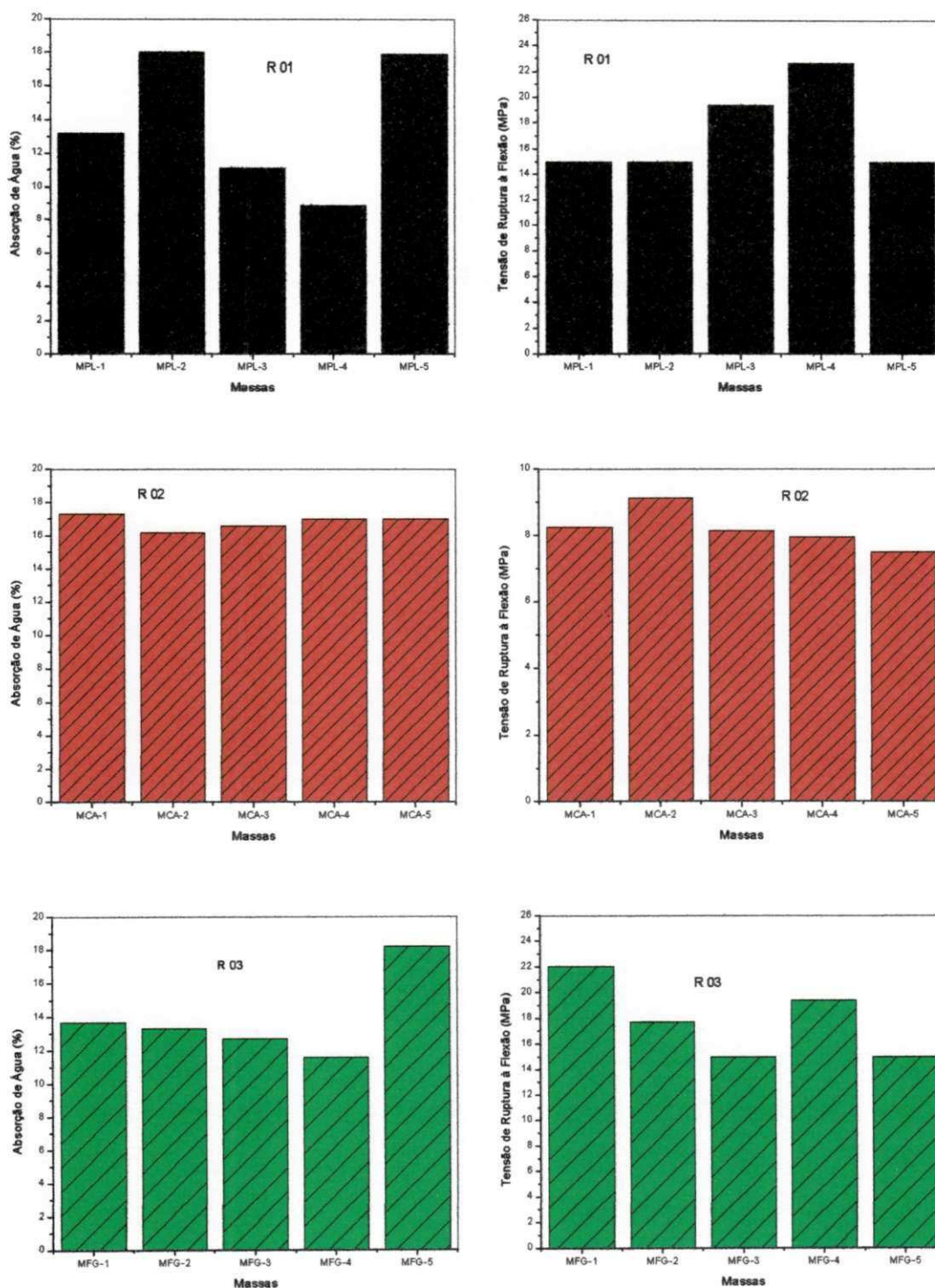


FIGURA 6.6 - Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com os resíduos R-01, R-02 e R-03 em escala piloto.

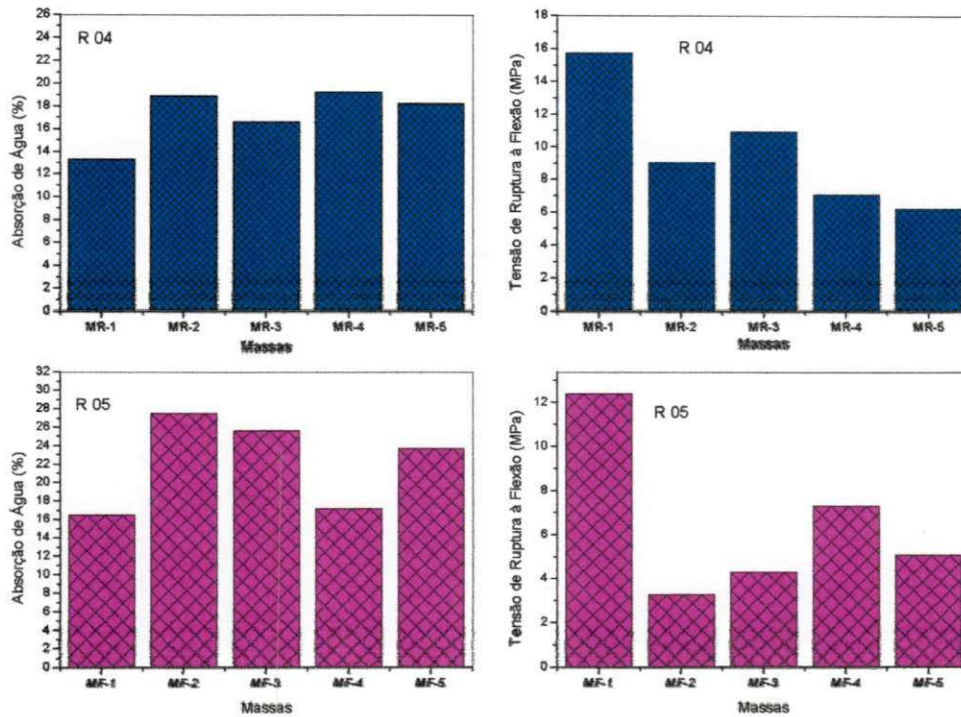


FIGURA 6.6.1- Propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com os resíduos R-01, R-02 e R-03 em escala piloto.

Analisando as micrografias da massa MPL-3 com diversas ampliações observa-se uma estrutura pouco homogênea com porosidade elevada (PA=21,2%) sendo evidentes alguns cristais e grande quantidade de fase vítrea. Como esses corpos de cerâmicos foram queimados em temperatura da ordem de 1150° C pode-se supor que os cristais evidenciados são de quartzo e que a fase vítrea resulta da fusão incongruente da fração argilosa juntamente com a fração não plástica sendo excluídos dessa reação os grandes cristais de quartzo em virtude de sua elevada refratáriedade.

Para a amostra MPL-4 verifica-se um aspecto bem similar ao da massa MPL-3, podendo-se observar na micrografia de mais baixa ampliação (10 μ m) e na micrografia com ampliação(100 μ m) uma estrutura mais compacta não sendo evidenciados poros, muito embora sua porosidade aparente, de valor 21,20%, seja superior ao da amostra MPL-3 anteriormente estudada. As micrografias com ampliação intermediária (20 e 50 μ m) são praticamente idênticas em sua

microestrutura à amostra MPL-3 acima descrita em relação a anteriormente estudadas.

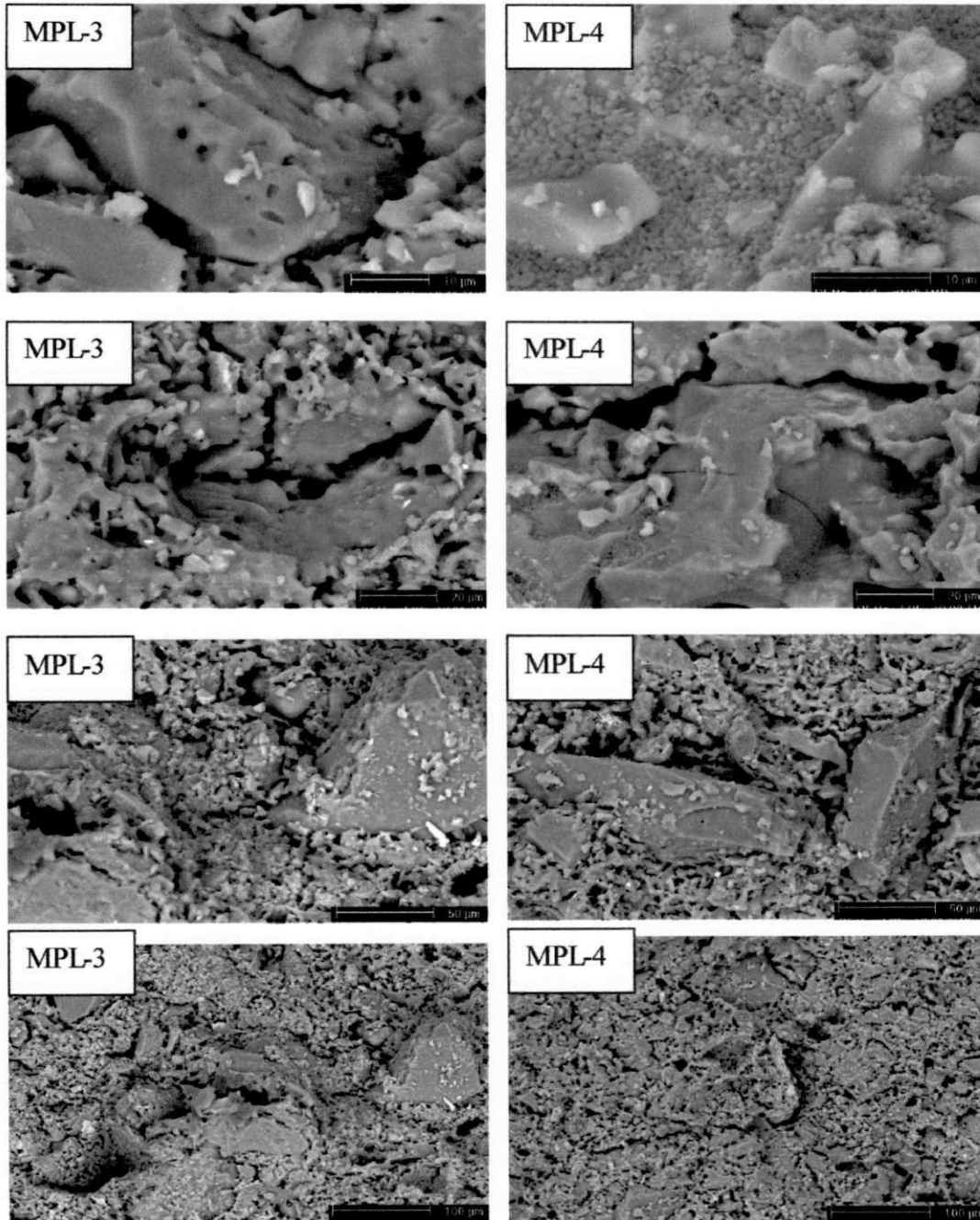


FIGURA 6.6.2 - Micrografias dos corpos cerâmicos das massas MPL - 3 e MPL- 4 sinterizados a 1150° C em escala piloto.

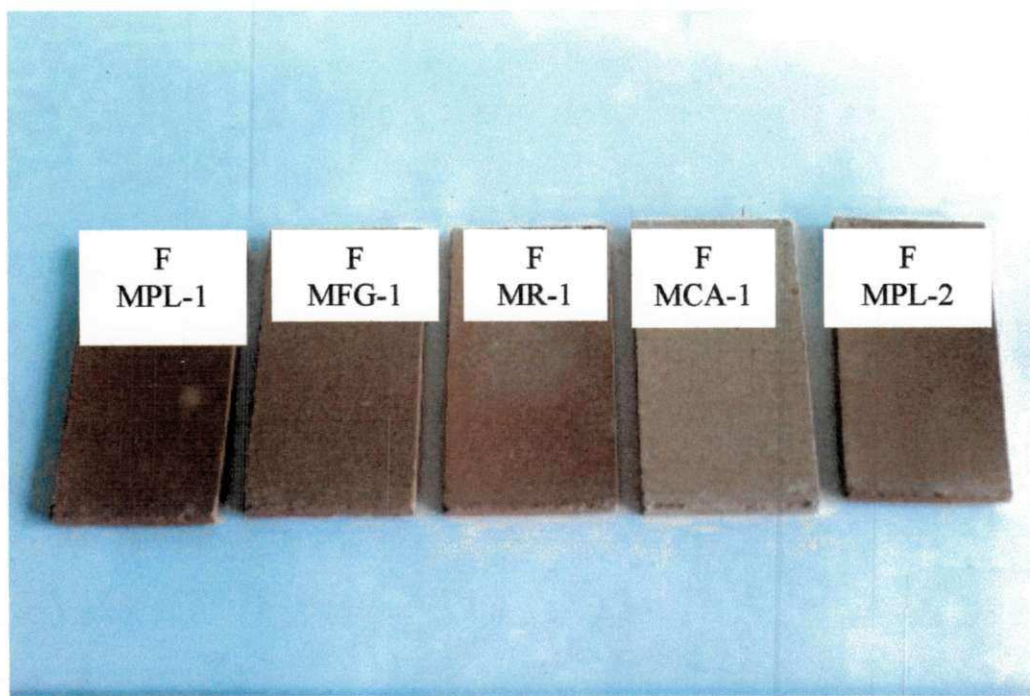
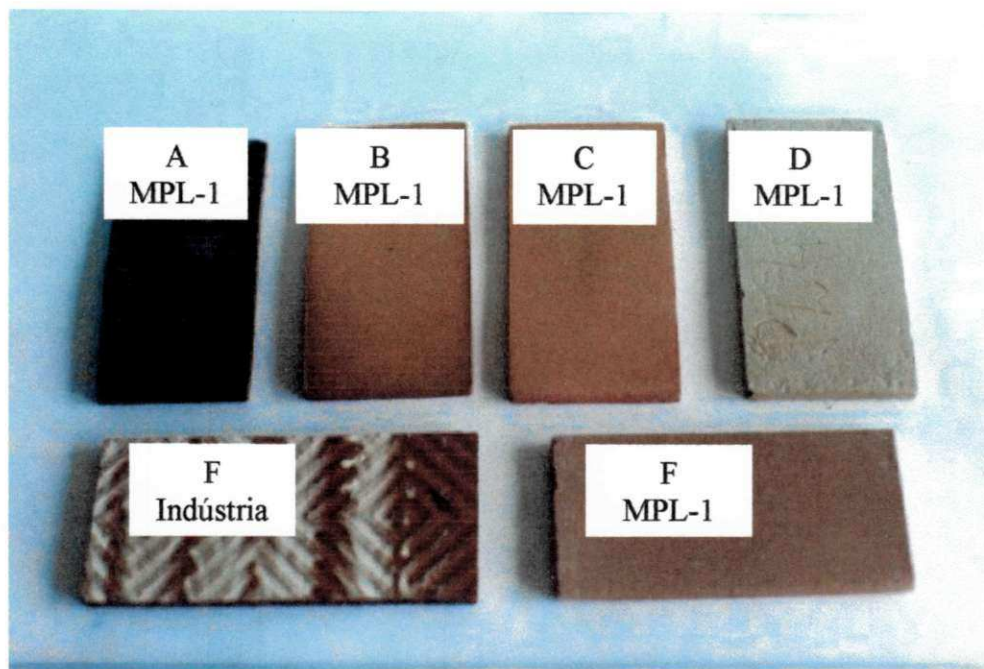


FIGURA 6.6.3 - Aspecto visual dos revestimentos cerâmicos obtidos em escala de laboratório e industrial: a)1200°C; b)1175°C; c)1150° C; d)110°C e f) industrial.

6.4 – Dilatação Térmica

As Tabelas 6.9 e 6.10 e as Figuras 6.7 e 6.8 apresentam respectivamente as curvas de expansão térmica e os coeficientes de expansão térmica correspondentes aos corpos cerâmicos de várias composições alternativas incorporadas com resíduos na temperatura de sinterização de 1175° C com patamar de queima de 30 minutos. Os coeficientes de expansão térmica foram calculados a partir dos resultados para a faixa de temperatura entre 100° C e 1000° C com diversos intervalos.

A Tabela 6.9 e a Figura 6.7 apresentam respectivamente os valores e as curvas de expansão térmica dos corpos cerâmicos incorporadas com resíduos de várias composições.

Observando-se os valores contidos na Tabela 6.9 e na Figura 6.7 verifica-se que o comportamento dilatométrico de todos os corpos cerâmicos para as diferentes composições varia linearmente até temperatura de 550°C com expansão máxima de 0,304% (massa MCA-1), seguida de uma inflexão correspondente à transformação do quartzo alfa em quartzo beta o que ocasiona um pequeno aumento nas dimensões entre 600°C e 800°C com expansão máxima de 0,506% (massa MF-2), ocorreu um novo patamar de expansão com uma inclinação menor que a interior e após 800°C início da sinterização, sendo o valor máximo de 0,596% para os corpos cerâmicos da composição da massa MF-3.

A Tabela 6.10 e a Figura 6.8 apresentam respectivamente os valores e as curvas de coeficientes de expansão térmica linear dos corpos cerâmicos incorporados com resíduos de várias composições.

Analisando os valores contidos na Tabela 6.10 e na Figura 6.8 verifica-se que os coeficientes de expansão térmica linear variam de forma linear com os valores praticamente idênticos para todas as composições estudadas até a temperatura de aproximadamente de 200°C com coeficiente de dilatação máximo de $56,20 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (massa MCA-3), a partir desta temperatura há uma mudança no coeficiente angular das curvas dilatométricas, havendo uma perda na sua linearidade, podendo-se observar pequenas variações de coeficiente angular com

individualização para cada massa estudadas com coeficiente de dilatação máxima para temperatura entre 25-600° C de $69,50 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (massa MCA-3). Para os intervalos entre 25° C e 925° C tem-se uma variação no coeficiente de dilatação de 55 a $65,0 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Comparando-se estes valores com as especificações da EN 103 e EN 155 (1991) e do Centro Cerâmico do Brasil (1999) verifica-se que os valores encontram-se dentro das especificações (máximo de $90,0 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$). Em relação à norma da ABNT NBR 13818 (1997) os valores limites de dilatação térmica são acordados entre as partes.

6.5 - Expansão por Umidade (EPU)

A Tabela 6.11 e a Figura 6.9 apresentam respectivamente os valores das expansões por umidade por fervura por um período de 24 horas de acordo com a norma da ABNT NBR 13818 (1997) dos corpos cerâmicos de várias composições alternativas incorporadas com resíduos na temperatura de sinterização de 1175°C com patamar de queima de 30 minutos.

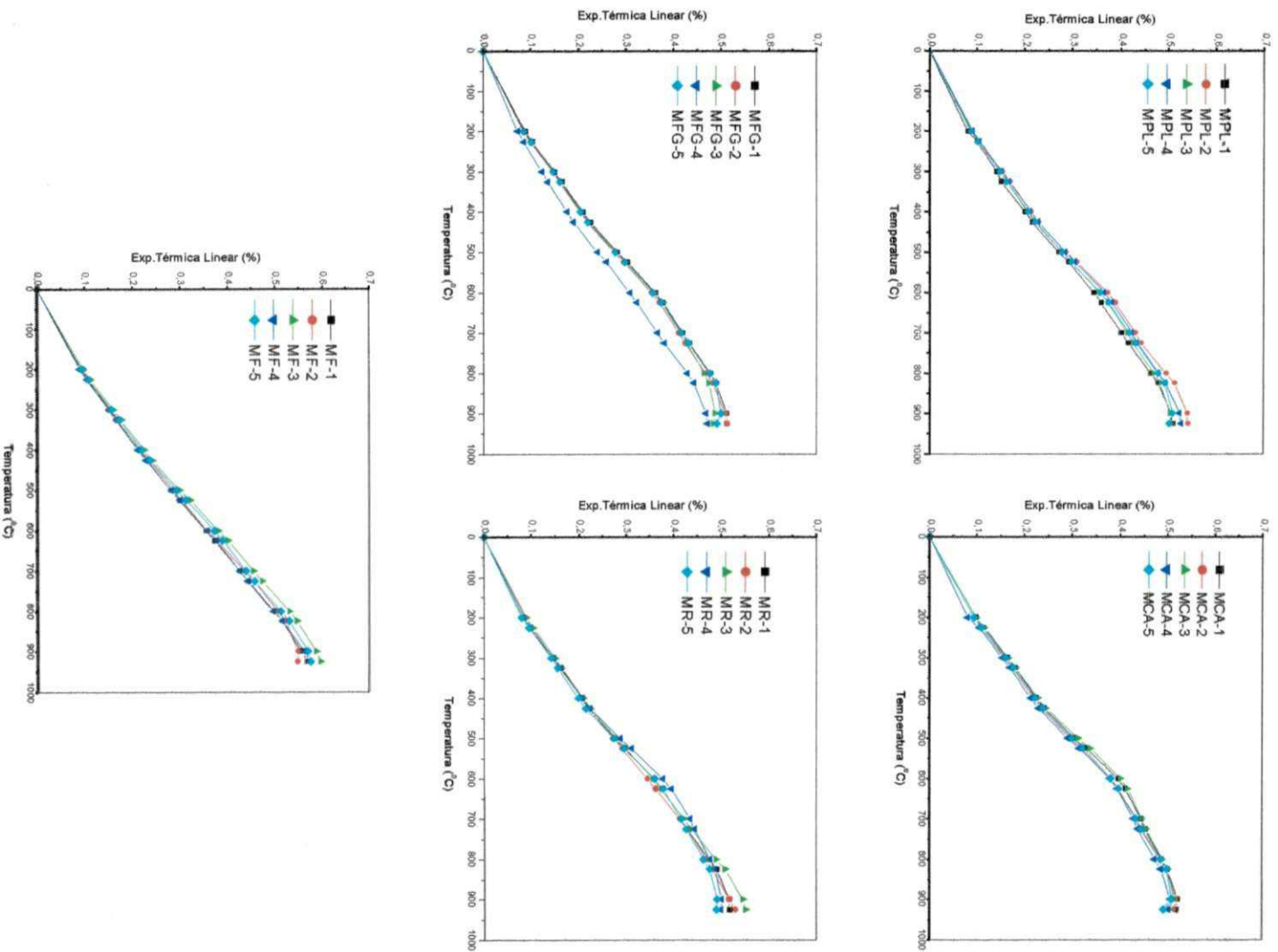
Analisando os valores contidos na Tabela 6.11 e na Figura 6.9 verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram expansão por umidade máxima de 0,987 mm/m (massa MCA-1) e mínima de 0,181 mm/m (massa MR-2), estando dentro da faixa de valores determinados por GOMES et al. (2000). Comparando-se estes valores com a norma da EN 155 (1991) e do Centro Cerâmico do Brasil (1999) verifica-se que os valores encontram-se dentro das especificações (máximo de 0,6 mm/m) com exceção das massas MPL-2, MPL-5 MCA-1, MCA-3, MAC-5 e MFG-1. Em relação a norma da ABNT NBR 13818 (1997) os valores limites de expansão por umidade (EPU) são acordados entre as partes.

TABELA 6.9 – Expansão térmica linear de corpos cerâmicos incorporados com resíduos sinterizados a 1175°C.

MASSAS	Expansão Térmica Linear (%)									
	Temperatura (°C)									
	25	200	300	400	500	600	700	800	900	925
MPL-1	0,00	0,083	0,14	0,20	0,271	0,343	0,400	0,463	0,505	0,508
MPL-2	0,00	0,088	0,152	0,212	0,284	0,371	0,429	0,494	0,538	0,539
MPL-3	0,00	0,087	0,147	0,206	0,277	0,355	0,413	0,468	0,503	0,506
MPL-4	0,00	0,090	0,151	0,212	0,284	0,365	0,423	0,479	0,523	0,526
MPL-5	0,00	0,086	0,101	0,147	0,205	0,277	0,356	0,478	0,508	0,501
MCA-1	0,00	0,097	0,164	0,225	0,304	0,395	0,444	0,486	0,521	0,517
MCA-2	0,00	0,093	0,158	0,218	0,295	0,378	0,431	0,483	0,517	0,512
MCA-3	0,00	0,098	0,165	0,227	0,311	0,400	0,445	0,487	0,513	0,503
MCA-4	0,00	0,088	0,154	0,213	0,290	0,377	0,427	0,472	0,505	0,501
MCA-5	0,00	0,093	0,160	0,223	0,299	0,380	0,432	0,485	0,507	0,491
MFG-1	0,00	0,088	0,150	0,209	0,282	0,362	0,420	0,478	0,511	0,511
MFG-2	0,00	0,085	0,146	0,203	0,275	0,353	0,411	0,468	0,509	0,512
MFG-3	0,00	0,086	0,147	0,206	0,279	0,360	0,417	0,465	0,487	0,484
MFG-4	0,00	0,073	0,123	0,176	0,240	0,308	0,366	0,429	0,469	0,472
MFG-5	0,00	0,086	0,147	0,204	0,277	0,357	0,416	0,477	0,500	0,492
MR-1	0,00	0,084	0,147	0,206	0,276	0,360	0,416	0,476	0,516	0,517
MR-2	0,00	0,087	0,146	0,207	0,272	0,344	0,413	0,470	0,516	0,529
MR-3	0,00	0,089	0,150	0,209	0,279	0,357	0,422	0,490	0,546	0,552
MR-4	0,00	0,084	0,147	0,207	0,287	0,378	0,435	0,477	0,501	0,500
MR-5	0,00	0,080	0,142	0,199	0,274	0,360	0,416	0,464	0,492	0,491
MF-1	0,00	0,091	0,153	0,214	0,281	0,354	0,425	0,498	0,556	0,567
MF-2	0,00	0,095	0,149	0,216	0,285	0,357	0,436	0,506	0,549	0,547
MF-3	0,00	0,095	0,160	0,224	0,299	0,380	0,454	0,530	0,587	0,596
MF-4	0,00	0,089	0,150	0,211	0,281	0,357	0,425	0,496	0,561	0,572
MF-5	0,00	0,093	0,156	0,219	0,292	0,371	0,439	0,512	0,569	0,576

TABELA 6.10 – Coeficientes de expansão térmica linear corpos cerâmicos incorporados com resíduos sinterizados a 1175° C.

Massas	Coeficientes de expansão Térmica Linear ($\alpha \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}^{-1}$)								
	Intervalos de Temperatura ($^\circ\text{C}$)								
	25-200	25-300	25-400	25-500	25-600	25-700	25-800	25-900	25-925
MPL-1	47,10	50,70	52,90	57,10	59,70	59,30	59,80	57,70	56,50
MPL-2	50,00	55,10	56,60	59,80	64,50	63,50	63,80	61,50	60,00
MPL-3	49,50	53,50	55,00	58,40	61,80	61,20	60,40	57,50	56,20
MPL-4	51,50	55,10	56,50	59,80	63,40	62,60	61,80	59,80	58,50
MPL-5	49,30	53,50	54,70	58,20	61,90	61,70	61,60	58,10	55,60
MCA-1	55,50	59,50	60,00	64,10	68,60	65,80	62,70	59,60	57,50
MCA-2	55,60	59,50	60,00	64,10	68,60	65,80	62,70	59,60	57,50
MCA-3	56,20	59,80	60,60	65,50	69,50	66,00	62,90	58,60	56,00
MCA-4	50,40	55,80	56,80	61,00	65,50	63,30	60,90	57,70	55,70
MCA-5	53,00	58,30	59,40	62,90	66,10	64,00	62,50	58,00	54,60
MFG-1	50,30	54,50	55,70	59,30	62,90	62,30	61,70	58,40	56,80
MFG-2	48,80	53,10	54,20	57,80	61,40	60,80	60,30	58,10	56,90
MFG-3	48,90	53,60	54,90	58,70	62,60	61,80	60,00	55,70	53,80
MFG-4	41,50	44,60	46,80	50,50	53,50	54,10	55,30	53,60	52,40
MFG-5	49,00	53,60	54,50	58,30	62,10	61,70	61,60	57,10	54,70
MR-1	48,20	53,40	54,90	58,00	62,60	61,60	61,40	58,90	57,40
MR-2	49,70	53,10	55,30	57,30	59,80	61,20	60,60	59,00	58,00
MR-3	50,70	54,40	55,70	58,80	62,00	62,50	63,30	62,40	61,40
MR-4	48,00	53,50	55,20	60,40	65,70	64,40	61,60	57,20	55,60
MR-5	46,00	51,60	53,00	57,70	62,50	61,60	59,80	56,30	54,50
MF-1	52,20	55,40	57,00	59,20	61,60	62,90	64,20	63,60	63,00
MF-2	54,40	54,10	57,60	60,00	62,10	64,60	65,30	62,70	60,80
MF-3	54,20	58,00	59,70	62,90	66,10	67,30	68,30	67,10	66,20
MF-4	50,80	54,60	56,40	59,20	62,10	62,90	64,00	64,10	63,60
MF-5	53,20	56,80	58,40	61,40	64,50	65,00	66,00	65,00	64,00

**FIGURA 6.7 – Dilatação térmica das massas incorporadas com resíduos.**

Neves, G.A. *Reciclagem de Resíduo da Serragem de Granitos para Uso como Matéria-Prima Cerâmica*

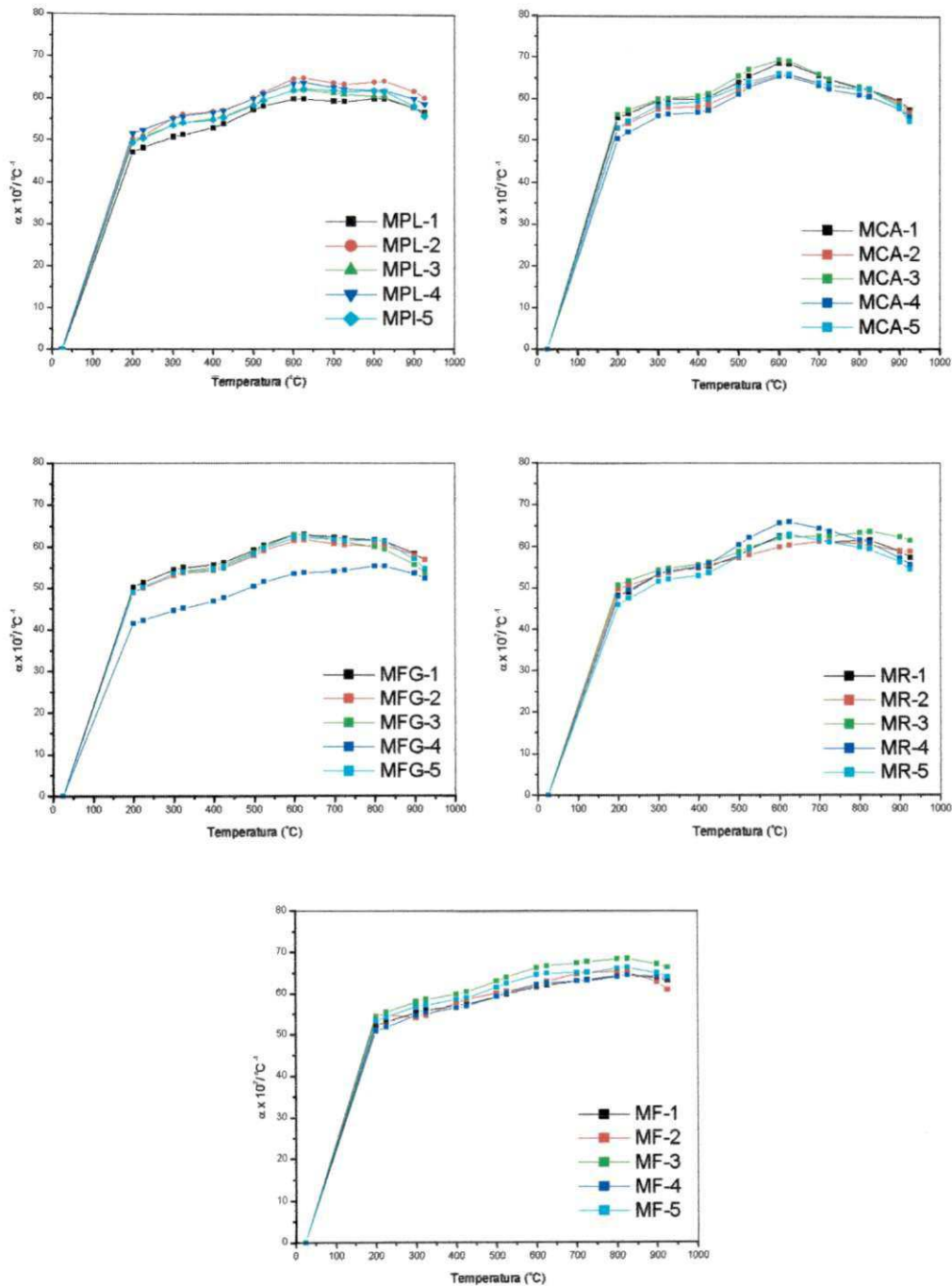


FIGURA 6.8 – Coeficientes de dilatação térmica das massas incorporadas com resíduos.

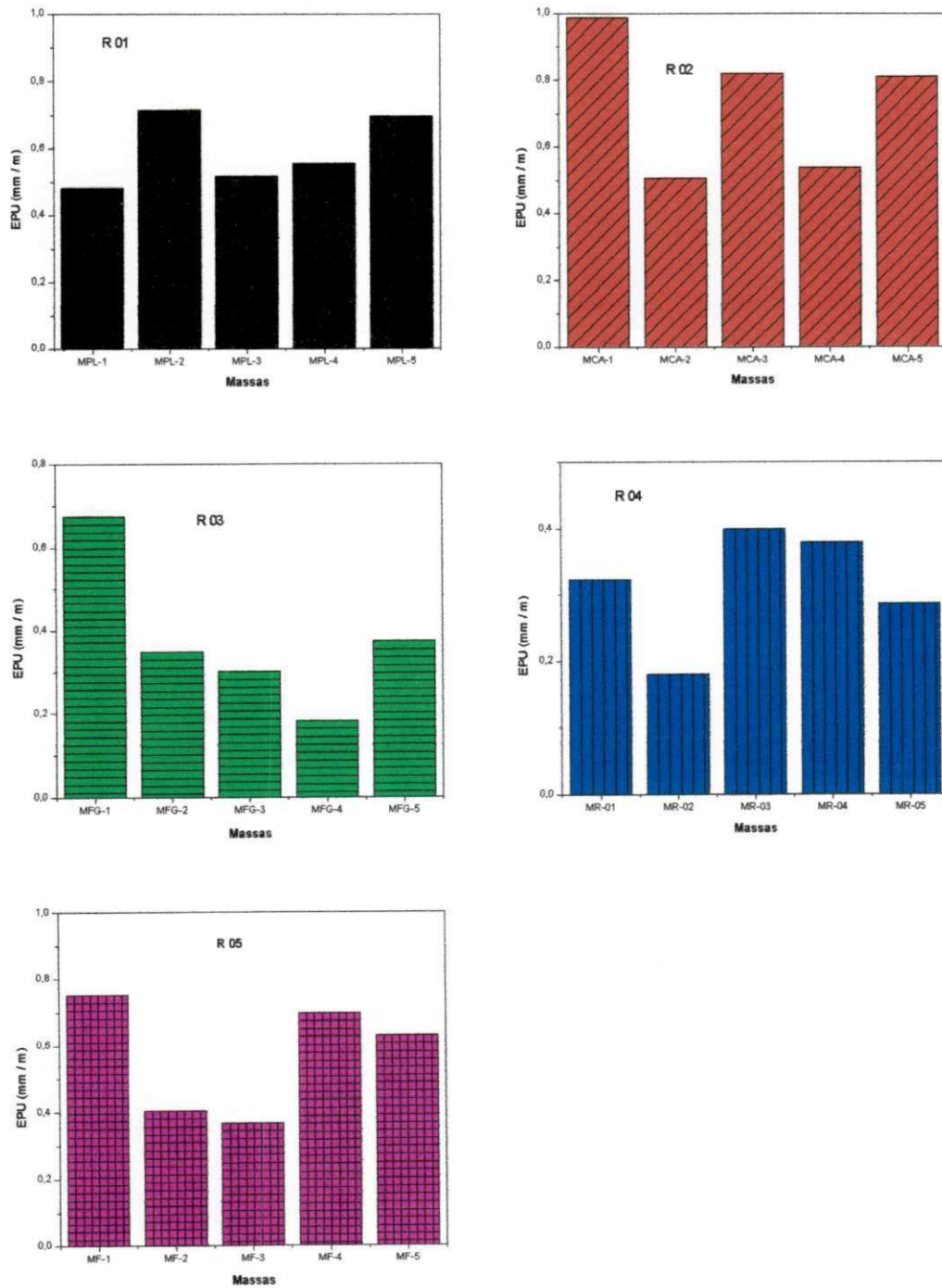


Figura 6.9 – Expansão por umidade (EPU) das massas incorporadas com resíduos.

TABELA 6.11 – Expansão por umidade (EPU) dos corpos cerâmicos incorporados com resíduos.

Composições	MPL-1	MPL-2	MPL-3	MPL-4	MPL-5
EPU (mm/m)	0,4800 ± 0,0082	0,7140 ± 0,0010	0,5150 ± 0,0053	0,5520 ± 0,0034	0,6930 ± 0,0072
Composições	MCA-1	MCA-2	MCA-3	MCA-4	MCA-5
EPU (mm/m)	0,9870 ± 0,00134	0,5050 ± 0,0081	0,8200 ± 0,0054	0,5400 ± 0,0015	0,8100 ± 0,0014
Composições	MFG-1	MFG-2	MFG-3	MFG-4	MFG-5
EPU (mm/m)	0,6740 ± 0,0044	0,3490 ± 0,0061	0,3010 ± 0,0067	0,1830 ± 0,0059	0,3730 ± 0,0014
Composições	MR-01	MR-02	MR-03	MR-04	MR-05
EPU (mm/m)	0,3240 ± 0,0087	0,1810 ± 0,0096	0,3990 ± 0,0016	0,3800 ± 0,0021	0,2870 ± 0,0086
Composições	MF-1	MF-2	MF-3	MF-4	MF-5
EPU (mm/m)	0,5750 ± 0,0015	0,4050 ± 0,0018	0,3670 ± 0,0078	0,5500 ± 0,0088	0,6000 ± 0,0051

6.6 - Conclusões Parciais

Analisando conjuntamente os resultados podemos concluir que:

6.6.1 - Matérias-primas alternativas (resíduos)

6.6.1.1 - Resíduos R-01, R-02, R-03, R-04 e R-05

a) os corpos cerâmicos estudados obtidos com várias composições alternativas incorporadas com resíduos apresentaram classificações segundo a norma da ABNT NBR 13818 (1997) em escala de laboratório como sendo monoporosas (BIII) para temperatura de 1150° C, semiporosas (BIIa) para temperatura 1175°C e semi-grés (BIIb) para temperatura de 1200°C;

b) em escala piloto os corpos cerâmicos estudados apresentaram classificação como sendo monoporosa (BIII) para os resíduos R-01, R-02, R-03 e R-04. Os corpos cerâmicos das massas alternativas MPL-4, MF-2, MF-3 e MF-4 apresentaram classificação como sendo semi-porosa (Grupo BIIb). Entretanto deve ser salientado que os resultados obtidos em escala piloto foram inferiores aos de laboratório, isto se deve ao fato da temperatura de sinterização da indústria ser em torno de 1125°C, portanto 25°C menor que as temperaturas utilizadas em laboratório.

c) os revestimentos cerâmicos obtidos a partir da massa padrão moldada industrialmente e queimados em laboratório juntamente com corpos de prova obtidos das massas alternativas moldados em laboratório submetidos aos ensaios previstos na norma ABNT NBR 13818 (1997) apresentaram resultados similares e satisfatórios;

d) em relação às propriedades térmicas, observa-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram expansões térmicas, coeficiente de dilatação e EPU dentro do limites aceitáveis da especificação da EN 155 (1991) e do Centro Cerâmico do Brasil (1999) e que os percentuais de resíduos incorporados às massas não tem tendência de provocar o fenômeno expansão térmico e de EPU.

CAPÍTULO VII

RESULTADOS E DISCUSSÃO

GRÉS SANITÁRIO

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos nos ensaios das massas incorporadas com resíduos oriundos da serragem de granitos para utilização em cerâmica branca na produção de grés sanitário. A realização desta fase do trabalho incluiu quatro etapas. Na primeira etapa foram realizados os ensaios de fusibilidade dos resíduos no estado natural e após desferrização. Na segunda etapa foram realizados os ensaios reológicos das matérias-primas convencionais plásticas e das massas alternativas incorporadas com resíduos. Na terceira etapa foram realizados os ensaios velocidade de deposição (VD), tempo de secagem (TS) e destacamento e na quarta e última etapa foram realizados ensaios de conformação por colagem e das propriedades físico-mecânicas.

7.1- Ensaio de Fusibilidade

A Tabela 7.1 e a Figura 7.1 apresentam os resultados dos ensaios de fusibilidade dos resíduos no estado natural e após desferrização.

Analisando os resultados da Tabela 7.1 verifica-se que os resíduos estudados apresentaram fusibilidade pronunciada e com achatamento (espalhamento) do cone com cores mais claras após separação magnética e pouca formação de furos e bolhas. Em relação ao uso cerâmico, os resíduos estudados após desferrização apresentaram coloração mais clara.

TABELA 7.1 – Ensaio de fusibilidade dos resíduos no estado natural e após desferrização.

Resíduo	Desferrização	Cor Aspecto da Textura	Porosidade	Fusibilidade	Dimensões Após Queima* (mm)
R 01	Não	Preta superfície com furos	Baixa	Alta com achatamento pronunciado com formação de bolhas	12,50 39,14
	Sim	Cinza claro superfície com furos	Baixa	Alta com achatamento pronunciado sem formação de bolhas	12,40 38,70
R 02	Não	Branca com superfície áspera	Alta	Baixa com achatamento pronunciado sem formação de bolhas	23,78 25,70
R 03	Não	Marrom escuro com boa textura	Baixa	Alta com achatamento pronunciado sem formação de bolhas	6,38 32,30
	Sim	Verde oliva com boa textura	Baixa	Alta com achatamento pronunciado sem formação de bolhas	5,70 35,14
R 04	Não	Preto com boa textura superfície opaca	Baixa	Alta com achatamento pronunciado sem formação de bolhas	19,86 35,63
	Sim	Amarelo escuro boa textura	Baixa	Alta com achatamento pronunciado sem formação de bolhas	9,10 36,60
R 05	Não	Preta superfície opaca com furo	Baixa	Alta com achatamento pronunciado sem formação de bolhas	3,74 40,37
	Sim	Creme claro com boa textura	Baixa	Alta com achatamento pronunciado sem formação de bolhas	7,00 30,56

*Dimensões Iniciais: Altura: 32,0 mm; Base: 30,3 mm; ND-Não determinado.

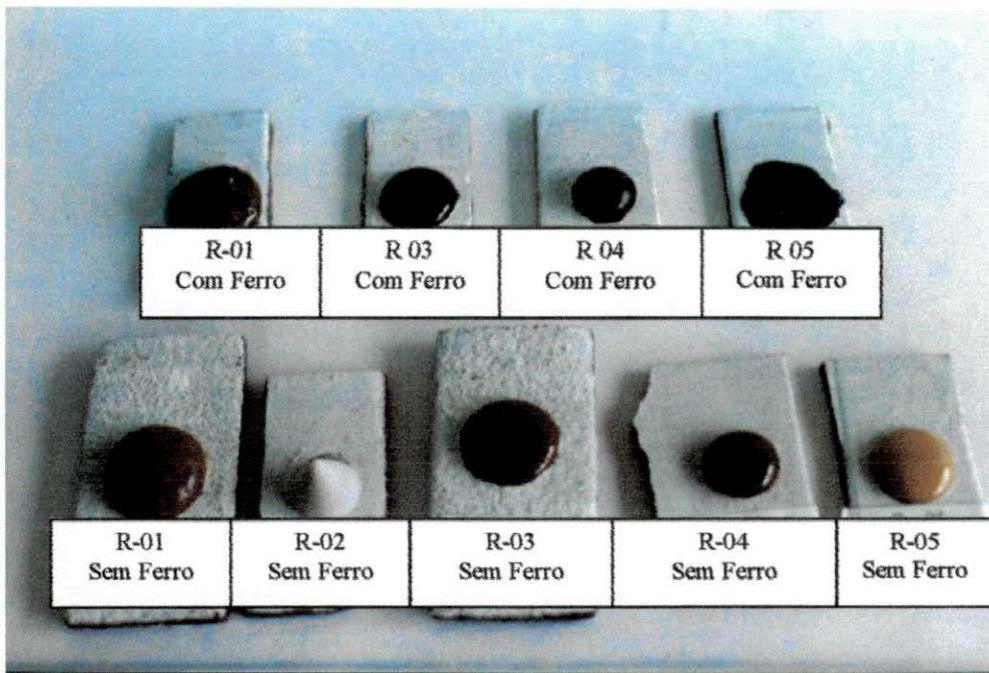


FIGURA 7.1 – Ensaio de fusibilidade dos resíduos no estado natural e após desferrização.

7.2 – Composições das Massas

As Tabelas 7.2 e 7.3 apresentam as massas alternativas formuladas pelo uso do REFORMIX 2.0 e as composições químicas com os resíduos R-01, R-02, R-03, R-04 e R-05 no estado natural e após desferrização.

7.3 – Propriedades Reológicas das Matérias-Primas Convencionais Plásticas

A Tabela 7.4 e as Figuras 7.2 e 7.3 apresentam as propriedades reológicas das barbotinas da argila ball-clay 02 e caulim determinadas com viscosímetro Brookfield, spindle 3 e com densidade de $1,56 \text{ g/cm}^3$. Foram discutidas apenas as curvas obtidas no ponto de viscosidade mínima como também as curvas de defloculação a 50rpm de acordo com os estudos de CALIL (1972), ANGELERI (1975) e SOUZA SANTOS (1992).

TABELA 7.2 – Composições das massas estudadas.

Massas	Desferrização	Ball clay 02 (%)	Caulim (%)	Feldspato (%)	Quartzo (%)	Tipo de Residuo (%)
MA-01	Não	25	15	34	10	15 R 03
MA-02		30	10	35	10	15 R 04
MA-03	Sim	21	12	26	23	18 R 01
MA-04		25	10	35	15	14 R 05
MA-05		22	12	37	14	15 R 04
MA-06		25	10	34	14	17 R 03
MA-07		20	15	40	00	25 R 02
MA-08		32	15	33	0,0	20 R 02

TABELA 7.3 - Composição química das massas estudadas

Massas	Desferrização	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	Cão (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
MA-01	Não	66,88	26,00	1,81	0,26	0,60	1,44	3,00
MA-02		67,39	25,00	1,48	0,20	1,00	1,72	3,18
MA-03	Sim	70,91	23,00	0,79	0,18	0,53	1,29	2,50
MA-04		69,49	25,00	0,75	0,22	0,00	1,44	3,00
MA-05		68,70	25,00	1,01	0,00	0,43	1,46	3,07
MA-06		68,98	26,00	0,77	0,22	0,44	1,86	2,94
MA-07		68,98	25,00	0,00	0,22	0,00	1,50	2,94
MA-08		68,00	27,74	0,00	0,27	0,00	1,00	2,32

Observando os valores contidos na Tabela 7.4 e Figura 7.2 verifica-se que a barbotina da argila ball-clay 02 apresentou valores nos pontos de viscosidades mínimas (maior fluidez) decrescentes com o aumento da taxa de deformação (cinzalhamento), sendo os valores de mínimas viscosidades de 140 cP (10rpm), 120 cP (20rpm), 110 cP (50rpm) e 100 cP (100rpm). Este comportamento ocorre, pois, com o aumento do teor de defloculante há adsorção nas fases menores e se estabelece um potencial zeta acima do crítico, onde as interações face-to-edge e edge-to-edge são destruídas e há repulsão entre as partículas e destruição de agregados ou aglomerados (parcial ou total), resultando diminuição na viscosidade (SOUZA SANTOS, 1992). Este comportamento reológico é típico de

um fluido não newtoniano, conhecido como pseudoplástico, ou seja, apresenta uma diminuição na viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação.

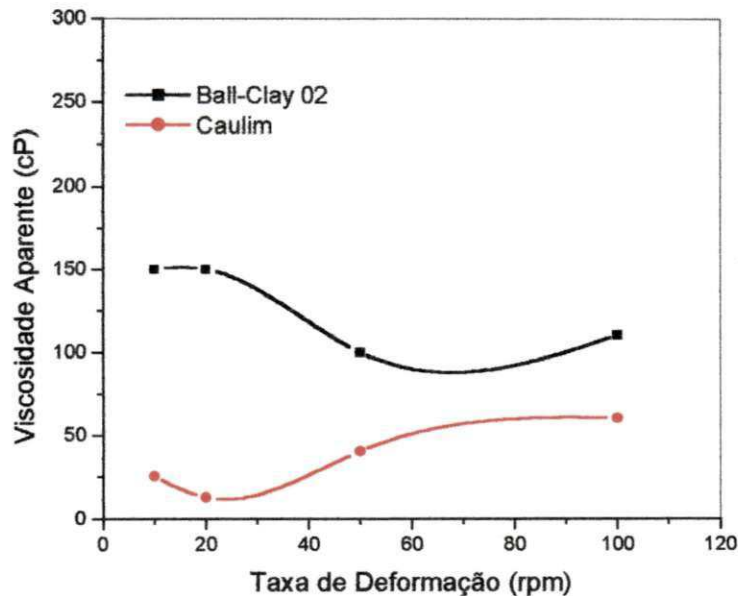


FIGURA 7.2 –Variação da viscosidade aparente em função da taxa de deformação no ponto de máxima defloculação.

Para o caulim, valores contido na Tabela 7.4 e Figura 7.2, verifica-se um aumento das viscosidades aparentes com o aumento da taxa de deformação, sendo os valores de mínimas viscosidades de 25 cP (10rpm), 12,5 cP (20rpm), 40cP (50rpm) e 60 cP (100rpm). Este comportamento pode ser causado por uma mudança do empacotamento fechado, onde não há água suficiente para lubrificação, para um empacotamento mais aberto, onde há um volume muito pequeno de água para preencher os vazios (NORTON, 1973). Este é um comportamento reológico típico de um fluido não newtoniano conhecido como dilatância, ou seja, é encontrado em dispersões que apresentam um aumento na viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação.

TABELA 7.4 – Propriedades reológicas de barbotinas de argilas ball-clay 02 e caulim.

Amostras	Teores de Na ₂ O (%)	Viscosidade Aparente (cP)			
		100 RPM	50 RPM	20 RPM	10 RPM
"Ball-Clay 02"	0,0578	690	1220	2750	4500
	0,0612	380	620	1150	1600
	0,0646	320	500	900	1100
	0,0680	250	400	650	700
	0,0714	220	300	500	500
	0,1088	110	120	150	170
	0,1478	100	110	120	140
	0,2448	140	160	200	250
Caulim	0,3400	190	220	300	400
	0,0306	960	1700	3900	7500
	0,0340	340	580	1200	1800
	0,0374	110	100	100	50
	0,0408	70	50	12,5	25
	0,0442	60	40	12,5	25
	0,0510	60	40	12,5	25
	0,1530	75	60	12,5	25
0,2550	110	100	100	100	
REF. SOUZA SANTOS(1992)	Consumo máximo de defloculante no ponto de viscosidade mínima igual a 0,20% de Na ₂ O para argilas e 0,10% de Na ₂ O para caulins.				

Para as curvas de deflocação, valores contidos na Tabela 7.4 e na Figura 7.3, indicam que a barbotina com argila ball-clay 02 apresentou para taxa de deformação de 50 rpm viscosidade aparente no ponto de deflocação inicial de 1220 cP, o que corresponde a um consumo de defloculante de 0,0578 % de Na₂O; o caulim apresentou viscosidade aparente de 1700 cP o que corresponde a um consumo inicial de defloculante de 0,0306 % de Na₂O, estando dentro da faixa de valores recomendados para argilas e caulins para uso em grés sanitário, consumo inicial máximo de 0,07 % de Na₂O, determinado por SOUZA SANTOS (1992). A partir do ponto inicial as barbotinas apresentaram viscosidade aparente decrescente com o teor de defloculante e observou-se um mínimo de: 110 cP para argila ball-clay 02 correspondente a um consumo de defloculante de 0,1478 % de Na₂O e o caulim de 40 cP correspondente a um teor de defloculante de

0,0442 % de Na_2O , estando dentro da faixa de valores das características físicas de argilas e caulins para uso em grés sanitário, consumo máxima de defloculante no ponto de viscosidade mínima de 0,20 % de Na_2O para argilas e 0,10 % de Na_2O para caulins, tal como indicado por SOUZA SANTOS (1992).

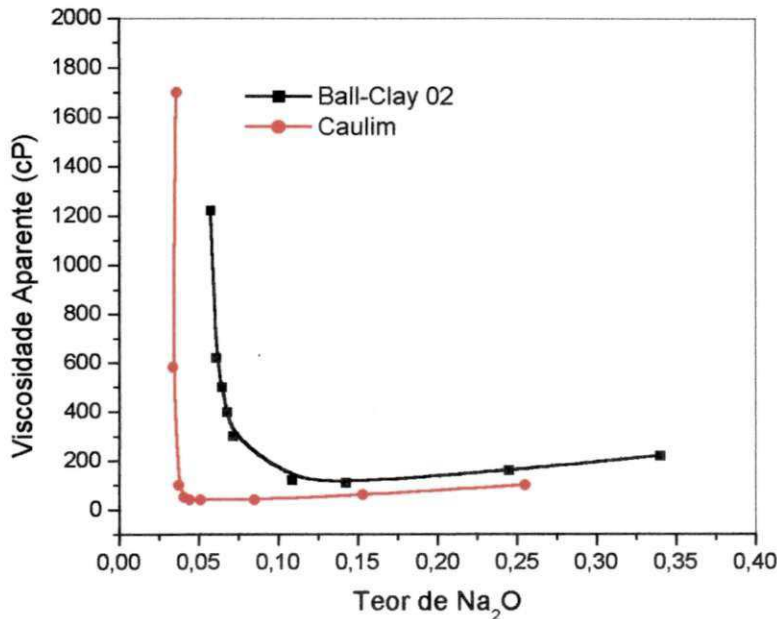


FIGURA 7.3 – Curva de defloculação da argila ball-clay 02 e caulim a taxa de deformação de 50 rpm.

7.4 – Propriedades Reológicas das Massas Alternativas com Resíduos

As Tabelas 7.5 a 7.12 e as Figura 7.4 a 7.12 apresentam as propriedades reológicas das barbotinas alternativas incorporadas com resíduos, determinadas com viscosímetro Brookfield, spindle 3 e com densidade de $1,80 \text{ g/cm}^3$. Foram discutidas apenas as curvas obtidas no ponto mínimo de viscosidade como também as curvas de defloculação a 50rpm de acordo com os estudos desenvolvidos por CALIL (1972), ANGELERI (1975) e SOUZA SANTOS (1992).

A Tabela 7.5 e as Figuras 7.4 e 7.5 apresentam as viscosidades aparentes em função da taxa de deformação e do teor de defloculante para barbotina da massa alternativa MA-01.

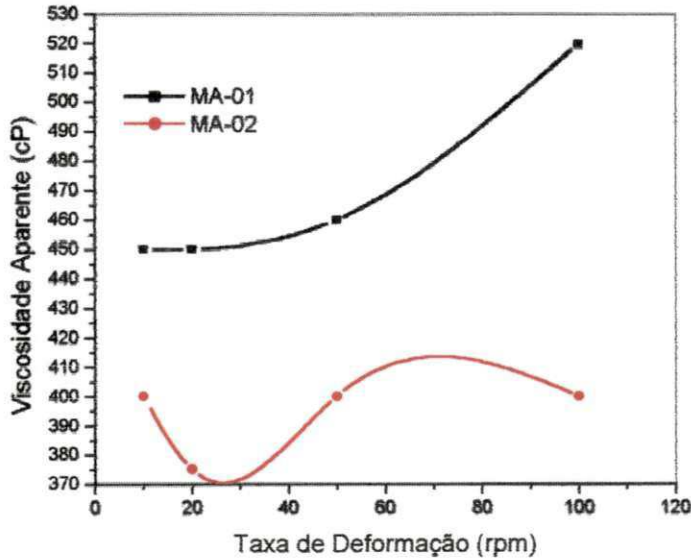


FIGURA 7.4 – Variação da viscosidade aparente em função da taxa de deformação no ponto de máxima defloculação.

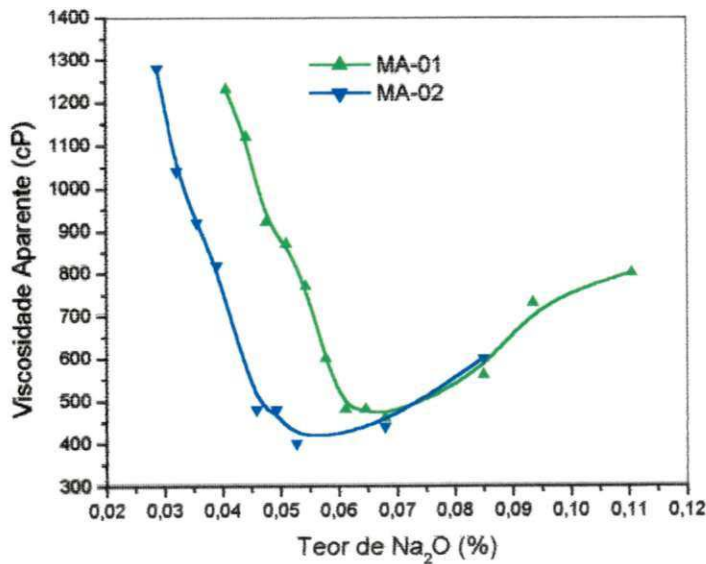


FIGURA 7.5 – Curva de defloculação das massas alternativas MA-01 e MA-02 na taxa de deformação de 50rpm.

Observando os valores contidos na Tabela 7.5 e na Figura 7.4 verifica-se que a barbotina da massa alternativa MA-01 apresentou no ponto de máxima defloculação um aumento das viscosidades aparentes com o aumento da taxa de deformação, sendo os valores das mínimas viscosidades de 450cP (10 e 20rpm), 460cP (50rpm) e 520cP (100rpm). Este comportamento reológico é típico de um fluido dilatante.

TABELA 7.5 – Propriedades reológicas da barbotina preparada com a massa alternativa MA-01.

Teores de Na ₂ O (%)	Viscosidade Aparente (cP)			
	100 rpm	50 rpm	20 rpm	10 rpm
0,0408	775	1230	2350	3900
0,0442	725	1120	2100	3500
0,0476	640	920	1675	2200
0,0510	590	870	1500	2000
0,0544	570	770	1250	1500
0,0578	550	600	800	700
0,0612	540	480	500	500
0,0646	540	480	500	450
0,0680	520	460	450	450
0,0850	570	560	650	650
0,0935	750	730	900	1000
0,1105	785	800	1050	1300

Para as viscosidades aparentes a 50 rpm valores contidos na Tabela 7.5 e na Figura 7.5 indicam que a massa estudada apresentou viscosidade aparente no ponto de defloculação inicial de 1230 cP, que corresponde a um consumo de defloculante de 0,0408 % de Na₂O. A partir do ponto inicial a barbotina apresentou com adição de defloculante uma viscosidade aparente decrescente, sendo o valor de viscosidade mínima de 480 cP para um consumo de defloculante de 0,0612 % de Na₂O, superior ao valor da barbotina industrial (viscosidade mínima de 215 cP) para uso em grés sanitário, determinados por CALIL (1972), ANGELERI (1975) e SOUZA SANTOS (1992).

A Tabela 7.6 e as Figuras 7.4 e 7.5 apresentam os valores das viscosidades aparentes em função da taxa de deformação e do teor de defloculante para barbotina da massa alternativa MA-02.

TABELA 7.6 – Propriedades reológicas da barbotina preparada com massa alternativa MA-02.

Teores de Na ₂ O (%)	Viscosidade Aparente (cP)			
	100 rpm	50 rpm	20 rpm	10 rpm
0,0289	815	1280	2350	4100
0,0323	700	1040	1900	2800
0,0357	620	920	1650	2400
0,0391	580	820	1450	2150
0,0459	560	480	525	550
0,0493	520	480	525	450
0,0527	400	400	375	400
0,0680	400	440	450	500
0,0850	570	600	850	1100
0,1020	720	940	1450	2100

Observando os valores contidos na Tabela 7.6 e na Figura 7.4 verifica-se que a barbotina da massa alternativa MA-02 apresentou no ponto de máxima defloculação viscosidades aparentes constantes com o aumento da taxa de deformação, sendo os valores de mínimas viscosidades de 400cP (10, 50 e 100rpm) e 375cP (20rpm). Este comportamento reológico é típico de um fluido pseudoplástico e dilatante.

Para as viscosidades aparentes a 50 rpm os valores contidos na Tabela 7.6 e na Figura 7.5 indicam que a massa estudada apresentou viscosidade aparente no ponto de defloculação inicial de 1280 cP, que corresponde a um consumo de defloculante de 0,0289 % de Na₂O. A partir do ponto inicial a barbotina apresentou com adição de defloculante uma viscosidade aparente decrescente, sendo o valor de viscosidade mínima de 400 cP para um consumo de defloculante de 0,0527 % de Na₂O, superior ao valor da barbotina industrial (viscosidade

mínima de 215 cP) para uso em grés sanitário determinados por SOUZA CALIL (1972), ANGELERI (1975) e SOUZA SANTOS (1992);

A Tabela 7.7 e a Figura 7.6 e 7.7 apresentam os valores das viscosidades aparentes em função da taxa de deformação e do teor de defloculante para barbotina da massa alternativa MA-03.

TABELA 7.7 – Propriedades reológicas da barbotina preparada com massa alternativa MA-03.

Teores de Na ₂ O (%)	Viscosidade Aparente (cP)			
	100 rpm	50 rpm	20 rpm	10 rpm
0,0272	720	1060	2000	3300
0,0306	570	840	1500	2300
0,0340	460	640	1100	1400
0,0374	385	500	700	900
0,0408	370	400	550	550
0,0442	350	360	450	500
0,0476	320	320	400	400
0,0510	300	300	350	350
0,0544	290	280	300	300
0,0612	280	260	300	300
0,0646	260	240	250	250
0,0731	280	270	300	300
0,0765	300	300	350	400
0,1003	380	400	575	700

Observando os valores contidos na Tabela 7.7 e na Figura 7.6 verifica-se que a barbotina da massa alternativa MA-03 apresentou no ponto de máxima defloculação um aumento das viscosidades aparentes com o aumento da taxa de deformação, sendo os valores de mínimas viscosidades de 250cP (10 e 20rpm), 240cP (50rpm) e 260cP (100rpm). Este comportamento reológico é típico de um fluido pseudoplástico e dilatante.

Para as viscosidades aparentes a 50 rpm valores contidos na Tabela 7.7 e na Figura 7.7 verifica-se que a massa estudada apresentou viscosidade aparente no ponto de defloculação inicial de 1060 cP, que corresponde a um consumo de

defloculante de 0,0272 % de Na_2O . A partir do ponto inicial a barbotina apresentou com adição de defloculante uma viscosidade aparente decrescente, sendo o valor de viscosidade mínima de 240 cP para um consumo de defloculante de 0,0646 % de Na_2O , estando próximo ao valor da barbotina industrial (viscosidade mínima de 215 cP) para uso em grés sanitário, determinados por CALIL (1972), ANGELERI (1975) e SOUZA SANTOS (1992)

A Tabela 7.8 e as Figuras 7.6 e 7.7 apresentam os valores das viscosidades aparentes em função da taxa de deformação e do teor de defloculante para barbotina da massa alternativa MA-04.

TABELA 7.8 – Propriedades reológicas da barbotina preparada com a massa alternativa MA-04.

Teores de Na_2O (%)	Viscosidade Aparente (cP)			
	100 rpm	50 rpm	20 rpm	10 rpm
0,0221	860	1160	1850	2800
0,0255	700	930	1450	2000
0,0289	550	680	1050	1300
0,0323	490	560	800	1000
0,0357	490	520	700	750
0,0391	410	420	500	550
0,0425	400	390	450	450
0,0459	390	370	400	450
0,0493	380	360	350	400
0,0527	360	330	350	350
0,0663	370	350	375	350
0,0697	370	350	375	400
0,0782	380	360	425	450
0,0867	470	460	575	650
0,0952	590	660	925	1200

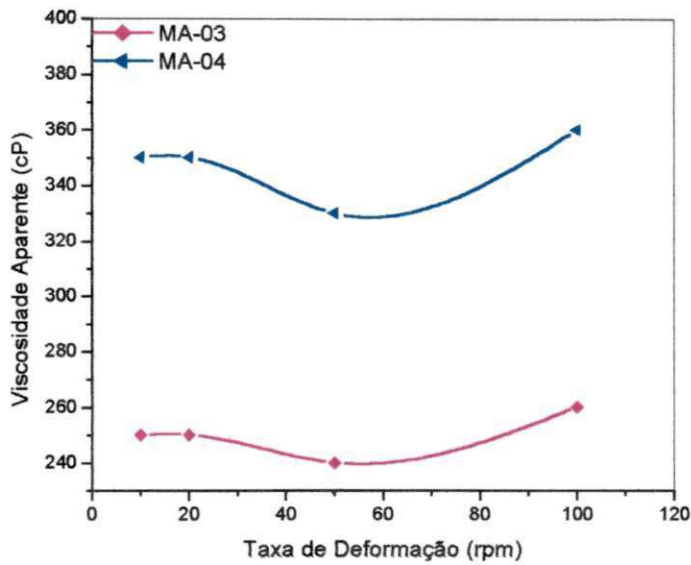


FIGURA 7.6 – Variação da viscosidade aparente em função da taxa de deformação no ponto de máxima defloculação.

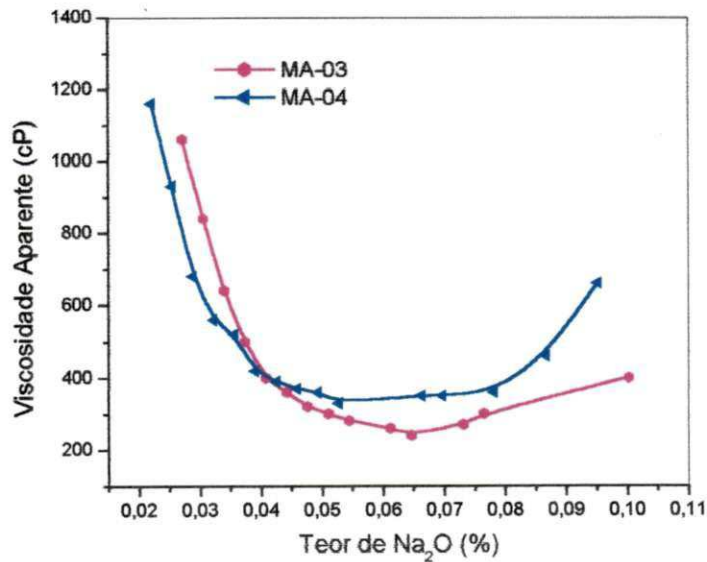


FIGURA 7.7 – Curva de defloculação das massas alternativas MA-03 e MA-04 na taxa de deformação de 50rpm.

Observando os valores contidos na Tabela 7.8 e na Figura 7.6 verifica-se que a barbotina da massa alternativa MA-04 apresentou no ponto de máxima defloculação um aumento das viscosidades aparentes com o aumento da taxa de deformação, sendo os valores das mínimas viscosidades de 350cP (10 e 20rpm), 330cP (50rpm) e 360cP (100rpm). Este comportamento reológico é típico de um fluido pseudoplástico e dilatante.

Para as viscosidades aparentes a 50 rpm os valores contidos na Tabela 7.8 e na Figura 7.7 indicam que a massa estudada apresentou viscosidade aparente no ponto de defloculação inicial de 1160 cP, o que corresponde a um consumo de defloculante de 0,0221% de Na₂O. A partir do ponto inicial a barbotina apresentou com adição de defloculante uma viscosidade aparente decrescente, sendo o valor da viscosidade mínima de 330 cP para um consumo de defloculante de 0,0527 % de Na₂O, superior ao valor da barbotina industrial (viscosidade mínima de 215 cP) para uso em grés sanitário determinados por CALIL (1972), ANGELERI (1975) e SOUZA SANTOS (1992).

A Tabela 7.9 e as Figuras 7.8 e 7.9 apresentam os valores das viscosidades aparentes em função da taxa de deformação e do teor de defloculante para barbotina da massa alternativa MA-05.

Observando os valores contidos na Tabela 7.9 e na Figura 7.8 verifica-se que a barbotina da massa alternativa MA-05 apresentou no ponto de máxima defloculação uma diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da taxa de deformação, sendo os valores de mínimas viscosidades de 550cP (10rpm), 525 cP (20rpm), 460cP (50rpm) e 495cP (100rpm). Este comportamento reológico é típico de um fluido pseudoplástico.

A Tabela 7.10 e as Figuras 7.8 e 7.9 apresentam os valores das viscosidades aparentes em função da taxa de deformação e do teor de defloculante para barbotina da massa alternativa MA-06.

Observando os valores contidos na Tabela 7.10 e na Figura 7.8 verifica-se que a barbotina da massa alternativa MA-06 apresentou no ponto de máxima defloculação uma diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da taxa de deformação, sendo os valores das mínimas viscosidades de 350cP (10 e

20rpm), 300cP (50rpm) e 320cp (100rpm). Este comportamento reológico é típico de um fluido pseudoplástico.

TABELA 7.9 – Propriedades reológicas da barbotina preparada com massa alternativa MA-05.

Teores de Na ₂ O (%)	Viscosidade Aparente (cP)			
	100 rpm	50 rpm	20 rpm	10 rpm
0,0153	860	1100	1650	2400
0,0187	630	740	1050	1300
0,0221	570	600	750	900
0,0255	550	520	650	700
0,0289	520	510	600	700
0,0357	500	480	550	600
0,0391	495	460	525	550
0,0425	530	500	600	650
0,0459	560	540	650	800
0,0493	580	560	700	850
0,0578	720	760	1050	1300
0,0663	925	1140	1650	2300

Para as viscosidades aparentes a 50 rpm os valores contidos na Tabela 7.10 e na Figura 7.9 indicam que a massa estudada apresentou viscosidade aparente no ponto de defloculação inicial de 910 cP, que corresponde a um consumo de defloculante de 0,0102 % de Na₂O. A partir do ponto inicial a barbotina apresentou com adição de defloculante uma viscosidade aparente decrescente, sendo o valor de viscosidade mínima de 300 cP para um consumo de defloculante de 0,0289 % de Na₂O, superior ao valor da barbotina industrial (viscosidade mínima de 215 cP) para uso em grés sanitário determinados por CALIL (1972), ANGELERI (1975) e SOUZA SANTOS (1992).

A Tabelas 7.11 e as Figuras 7.10 e 7.11 apresentam os valores das viscosidades aparentes em função da taxa de deformação e do teor de defloculante para barbotina da massa alternativa MA-07.

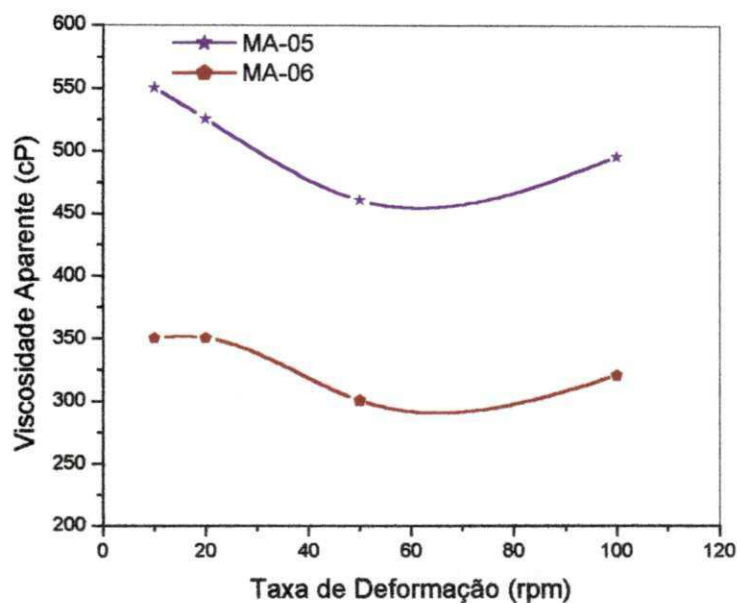


FIGURA 7.8 – Variação da viscosidade aparente em função da taxa de deformação no ponto de máxima deflocação.

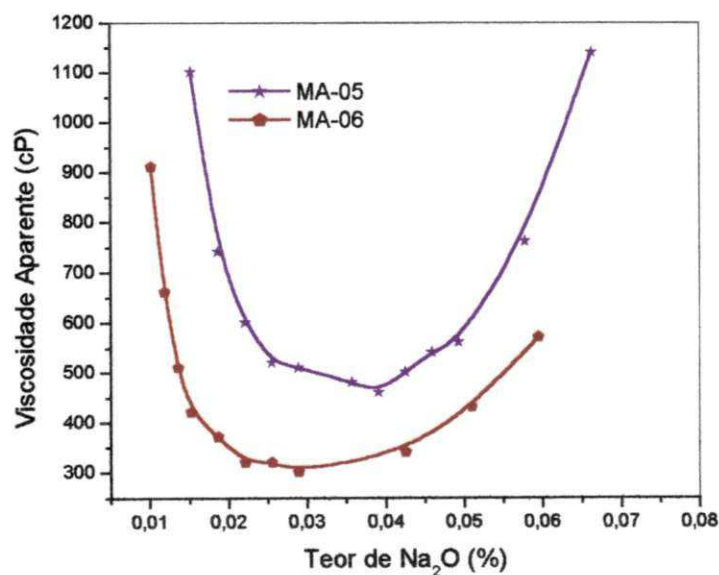


FIGURA 7.9 – Curva de deflocação das massas alternativas MA-05 e MA-06 na taxa de deformação de 50rpm.

TABELA 7.10 – Propriedades reológicas da barbotina preparada com massa alternativa MA-06.

Teores de Na ₂ O (%)	Viscosidade Aparente (cP)			
	100 rpm	50 rpm	20 rpm	10 rpm
0,0102	690	910	1550	2400
0,0119	480	660	1000	1300
0,0136	450	510	775	950
0,0153	400	420	525	500
0,0187	370	370	450	450
0,0221	335	320	350	400
0,0255	320	320	350	400
0,0289	320	300	350	350
0,0425	350	340	375	450
0,0510	420	430	575	700
0,0595	515	570	850	1100
0,0680	585	720	1075	1500

Observando os valores contidos na Tabela 7.11 e na Figura 7.10 verifica-se que a barbotina da massa alternativa MA-07 apresentou no ponto de máxima defloculação uma diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da taxa de deformação, sendo os valores de mínimas viscosidades de 1500cP (10rpm), 1200cP (20rpm), 900cP (50rpm) e 760cP (100rpm). Este comportamento reológico é típico de um fluido como pseudoplástico.

TABELA 7.11 – Propriedades reológicas da barbotina preparada com a massa alternativa MA-07.

Teores de Na ₂ O (%)	Viscosidade Aparente (cP)			
	100 rpm	50 rpm	20 rpm	10 rpm
0,0408	870	1100	1650	2300
0,0442	850	1060	1550	2100
0,0510	760	900	1200	1500
0,0544	760	900	1200	1500
0,0816	800	960	1250	1700
0,0952	935	1100	1450	1200

Para as viscosidades aparentes a 50 rpm valores contidos na Tabela 7.11 e na Figura 7.11 verifica-se que a massa estudada apresentou viscosidade aparente de 1100 cP no ponto de defloculação inicial, que corresponde a um consumo de defloculante de 0,0408 % de Na₂O. A partir do ponto inicial a barbotina apresentou com adição de defloculante uma viscosidade aparente decrescente, sendo o valor de viscosidade mínima de 900 cP para um consumo de defloculante de 0,0510 % de Na₂O, inferior ao valor da barbotina industrial (viscosidade mínima de 215 cP) para uso em grés sanitário, determinados por CALIL (1972), ANGELERI (1975) e SOUZA SANTOS (1992).

A Tabela 7.12 e as Figuras 7.10 e 7.11 apresentam os valores das viscosidades aparentes em função da taxa de deformação e do teor de defloculante para barbotina da massa alternativa MA-08.

TABELA 7.12 – Propriedades reológicas da barbotina preparada com a massa alternativa MA-08.

Teores de Na ₂ O (%)	Viscosidade Aparente (cP)			
	100 rpm	50 rpm	20 rpm	10 rpm
0,0221	830	1300	2400	3700
0,0255	610	880	1500	1900
0,0289	450	470	600	650
0,0323	370	380	375	500
0,0357	310	300	350	400
0,0391	256	260	275	300
0,0425	250	240	250	350
0,0459	240	230	250	250
0,0493	240	220	250	250
0,0595	245	240	250	300
0,0680	260	250	275	300
0,0850	300	310	350	400
0,1105	400	420	500	600
0,1360	520	560	725	900

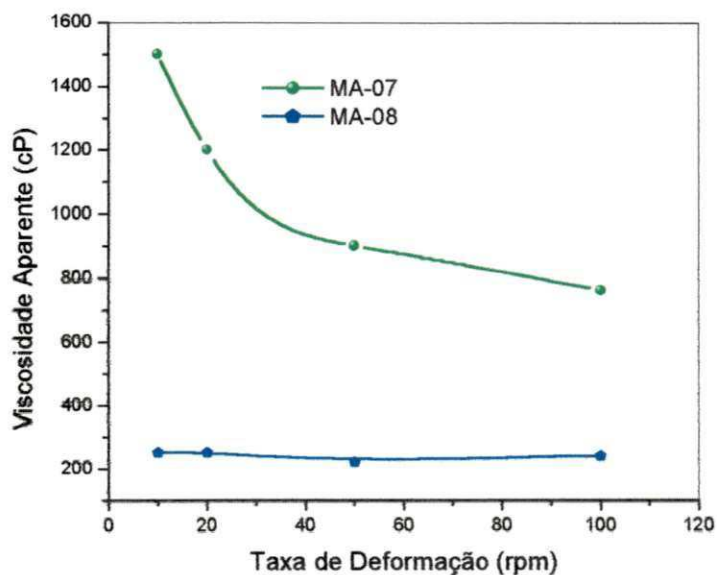


FIGURA 7.10 – Variação da viscosidade aparente em função da taxa de deformação no ponto de máxima defloculação.

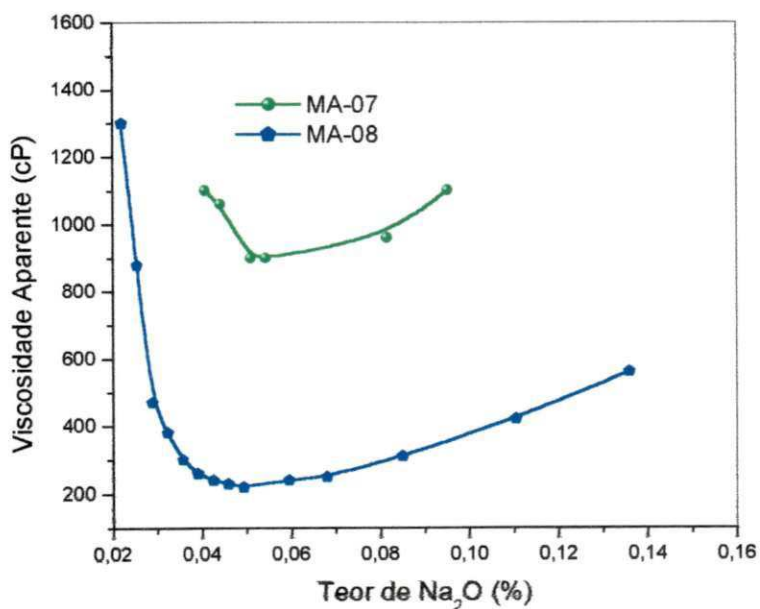


FIGURA 7.11 – Curva de defloculação das massas alternativas MA-07 e MA-08 na taxa de deformação de 50rpm.

Observando os valores contidos na Tabela 7.12 e na Figura 7.10 verifica-se que a barbotina da massa alternativa MA-08 apresentou no ponto de máxima defloculação uma diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da taxa de deformação, sendo os valores de mínimas viscosidades de 250cP (10 e 20rpm), 220cP (50rpm) e 240cP (100rpm). Este comportamento reológico é típico de um fluido pseudoplástico.

Para as viscosidades aparentes a 50 rpm os valores contidos na Tabela 7.12 e na Figura 7.11 indicam que a massa estudada apresentou no ponto de defloculação inicial viscosidade aparente de 1300 cP, que corresponde a um consumo de defloculante de 0,0221 % de Na₂O. A partir do ponto inicial a barbotina apresentou com adição de defloculante uma viscosidade aparente decrescente, sendo o valor de viscosidade mínima de 220 cP para um consumo de defloculante de 0,0493 % de Na₂O, similar ao valor da barbotina industrial (viscosidade mínima de 215 cP) para uso em grés sanitário, determinados por CALIL (1972), ANGELERI (1975) e SOUZA SANTOS (1992).

7.5- Velocidade de Deposição, Tempo de Secagem e Destacamento

A Tabela 7.13 apresenta os valores de velocidade de deposição (VD), tempo de secagem (TS) e destacamento das massas incorporadas com resíduos, no ponto de viscosidade mínima.

Observando os valores contidos na Tabela 7.13, verifica-se que as barbotinas das massas estudadas apresentaram velocidade de deposição mínima de 256,9 g (massa MA-04) para o tempo de secagem de 38 s, sendo inferior ao padrão industrial para uso em grés sanitário tomado como referência. Comparando esses resultados com a faixa de valores determinados por CALIL (1972) e SOUZA SANTOS (1992), verifica-se que os resultados foram inferiores para velocidade de deposição (VD) (53,0 g a 83,0 g) e similares para tempo de secagem(TS) (41 e 87 s). Em relação ao destacamento, as barbotinas estudadas apresentaram resultados similares ao padrão industrial e aos determinados por CALIL (1972), ANGELERI (1975) e SOUZA SANTOS (1992).

TABELA 7.13 – Velocidades de deposição (VD) e tempos de secagem (TS) das massas alternativas estudadas.

Massa	VD(g)	TS(s)	Destacamento
MA-01	281,3	75	Regular
MA-02	304,9	54	Regular
MA-03	371,6	77	Bom
MA-04	256,9	38	Bom
MA-05	315,0	83	Regular-Bom
MA-06	328,1	32	Bom
MA-07	330,30	33	Bom
MA-08	280,0	65	Regular
Padrão industrial	462,50	165	Bom

7.6- Propriedades Físico-mecânicas

As Tabelas 7.14 e 7.15 e as Figuras 7.12 e 7.13 apresentam os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos 6,0cm x 2,0cm x 0,5cm das massas alternativas incorporadas com resíduos obtidos pelo processo de colagem após secagem a 110°C e sinterizados nas temperaturas de 1150°C, 1200°C e 1250°C. A Figura 7.15 apresenta os aspectos visuais dos cadinhos moldados pelo processo de colagem.

A Tabela 7.14 e a Figura 7.12 apresentam os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após secagem a 110°C.

Observando os valores contidos na Tabela 7.14 e na Figura 7.12, verifica-se que os corpos cerâmicos incorporados com resíduos apresentaram valores de retração de secagem máxima de 2,55 % (massas MA-01, MA-04 e MA-05), sendo similar ao resultado do padrão industrial tomado como referência. Para tensão de ruptura à flexão os valores máximo foram de 1,77 MPa (massa MA-01 e MA-04), sendo similar ao padrão industrial.

TABELA 7.14 – Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos após secagem a 110° C.

Massa	Propriedades Físico-Mecânicas		
	RL (%)	TRF (MPa)	Cor Após secagem
MA-01	2,55	1,77 ± 0,78	Cinza
MA-02	2,29	1,12 ± 0,97	Cinza
MA-03	2,41	1,09 ± 0,93	Cinza
MA-04	2,55	1,77 ± 0,32	Cinza
MA-05	2,55	0,88 ± 0,44	Cinza
MA-06	1,33	1,09 ± 0,45	Cinza
MA-07	2,46	1,03 ± 0,92	Creme
MA-08	2,43	1,68 ± 0,82	Creme
Padrão industrial	2,30	0,95 ± 0,23	Creme-Clara

*RL-Retração Linear de Secagem; TRF-Tensão de Ruptura à Flexão

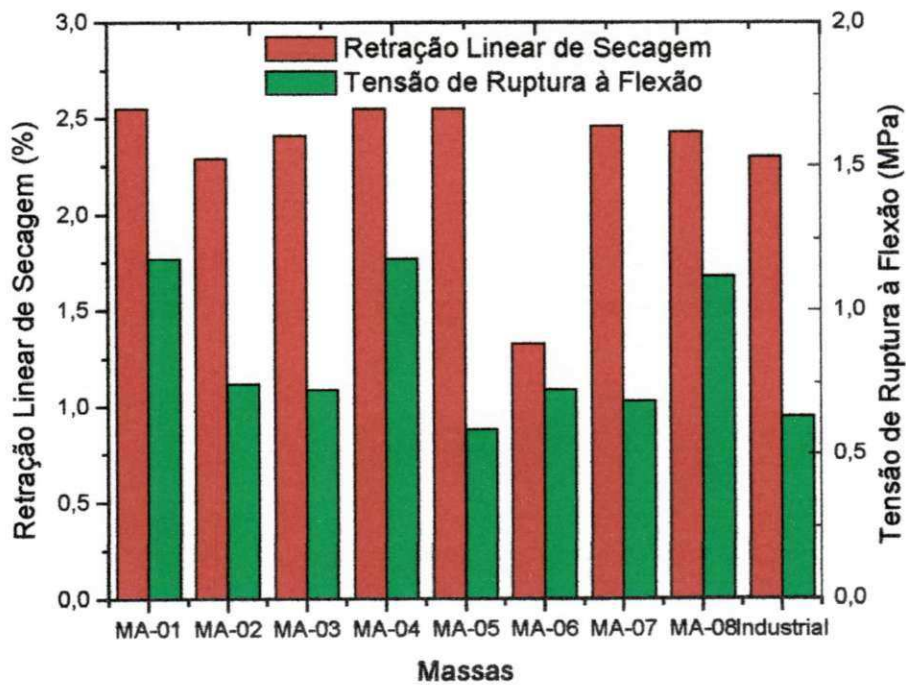


FIGURA 7.12 – Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com resíduos após secagem a 110° C.

A Tabela 7.15 e a Figura 7.13 apresentam os valores das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com resíduos após sinterização nas temperaturas de 1150°C, 1200°C e 1250°C.

Observando os valores contidos na Tabela 7.15 e na Figura 7.13, verifica-se que com o aumento da temperatura de queima tem-se menores valores de absorção de água, bem como entre as massas alternativas, as massas MA-06, MA-07 e MA-08 são as que apresentaram valores mais baixos de absorção de água para temperatura de sinterização de 1250°C. Verifica-se também que todos os corpos cerâmicos incorporados com resíduos apresentaram valores de absorção de água da mesma ordem de grandeza do padrão industrial tomado como referência para temperatura de sinterização de 1250°C, sendo o valor máximo de 1,51% (massa MA-05). Comparando estes resultados com o valor de absorção de água (1,52%) da massa industrial para uso em grés sanitário determinado por SOUZA SANTOS (1992) para temperatura de sinterização de 1250°C, verifica-se que são da mesma ordem de grandeza.

Para retração de queima valores contidos na Tabela 7.15 e na Figura 7.13, verifica-se que os corpos cerâmicos apresentaram valores de retração de queima crescentes em relação as temperaturas de sinterização, sendo os valores máximos de 7,41% (massa MA-08), 10,94% (massa MA-01) e 11,82% (massa MA-03), para as temperaturas de sinterização de 1150°C, 1200°C e 1250°C respectivamente, sendo similares ao valor do padrão industrial.

Para os valores de tensão de ruptura à flexão contidos na Tabela 7.15 e na Figura 7.13, verifica-se que os corpos cerâmicos apresentaram valores crescentes em relação à temperatura de sinterização, sendo os valores máximos de 34,57 MPa (massa MA-08), 40,77 MPa (massa MA-05) e 48,60 MPa (massa MA-05) para as temperaturas de sinterização de 1150°C, 1200°C e 1250°C respectivamente, são um pouco inferiores ao valor padrão (57,4 MPa) para uso em grés sanitário, determinado por SOUZA SANTOS (1992) para temperatura de sinterização de 1250°C.

A Figura 7.14 apresenta as micrografias da superfície fraturada dos corpos cerâmicos da massa padrão industrial e das massas MA-07 e MA-08

incorporadas com resíduos obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

TABELA 7.15 - Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos sinterizados nas temperaturas de 1150°C, 1200°C e 1250°C.

Massas	Temperaturas (°C)	Propriedades físico-mecânicas					
		RQ	AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	TRF (MPa)	Cor Após Queima
MA-01	1150	5,34	8,95 ±0,18	17,15	1,91	19,07 ± 0,28	Rosa-clara
	1200	10,94	3,17 ±0,30	6,42	2,01	40,74 ±0,98	Cinza
	1250	11,58	1,20 ±0,80	2,78	2,31	47,60 ±1,21	Cinza
MA-02	1150	2,88	11,59 ±0,06	20,02	1,73	14,09 ±0,78	Cinza
	1200	8,09	7,54 ±0,45	13,35	1,77	34,08 ±0,89	Cinza
	1250	11,16	1,24 ±0,89	2,82	2,27	46,50 ±0,65	Creme
MA-03	1150	4,23	13,62 ±0,06	25,27	1,84	15,09 ±0,88	Cinza
	1200	8,87	6,11 ±0,08	11,27	1,90	27,55 ±0,97	Rosa-Clara
	1250	11,82	1,51 ±0,45	3,30	2,24	40,52 ±0,86	Rosa-Clara
MA-04	1150	3,78	14,26 ±0,83	26,28	1,80	12,85 ±0,85	Rosa-Clara
	1200	7,85	5,84 ±0,78	10,57	1,81	32,63 ±1,65	Cinza
	1250	10,65	1,33 ±0,13	2,97	2,22	45,80 ±0,89	Cinza
MA-05	1150	3,49	11,71±0,89	21,77	1,83	12,11 ±0,69	Cinza
	1200	9,82	4,80 ±0,67	9,00	1,87	40,77 ±0,92	Rosa-Clara
	1250	11,68	0,96 ±0,02	1,95	2,04	48,60 ±1,10	Cinza
MA-06	1150	2,17	16,60 ±0,96	29,15	1,75	11,95 ±0,78	Cinza
	1200	7,74	7,40 ±0,03	13,31	1,80	31,93 ±0,89	Creme
	1250	10,66	0,73 ±0,06	1,51	2,07	44,78 ±0,86	Cinza
MA-07	1150	3,93	15,96 ±0,52	28,15	1,76	16,58 ±0,76	Rosa
	1200	6,50	6,16 ± 0,57	11,28	1,83	37,80 ±0,56	Cinza
	1250	11,45	0,25 ±0,35	0,56	2,21	40,74 ±1,20	Cinza
MA-08	1150	7,41	4,47± 0,44	9,63	2,15	34,57 ±0,73	Rosa
	1200	9,33	1,65 ± 0,45	3,77	2,28	36,26 ±0,73	Cinza
	1250	10,55	0,07 ±0,01	0,17	2,39	43,63 ±0,44	Cinza
Padrão industrial	1150	3,56	15,62 ±0,09	28,13	1,80	15,41±0,68	Creme-Clara
	1200	7,40	3,95 ±0,03	8,05	2,04	37,20 ±0,79	Creme
	1250	10,00	0,40 ±0,21	0,90	2,28	50,61 ±0,91	Creme

RQ- Retração de Queima;AA- Absorção de Água;PA-Porosidade Aparente;MEA-Massa Específica Aparente;TRF-Tensão de Ruptura à Flexão.

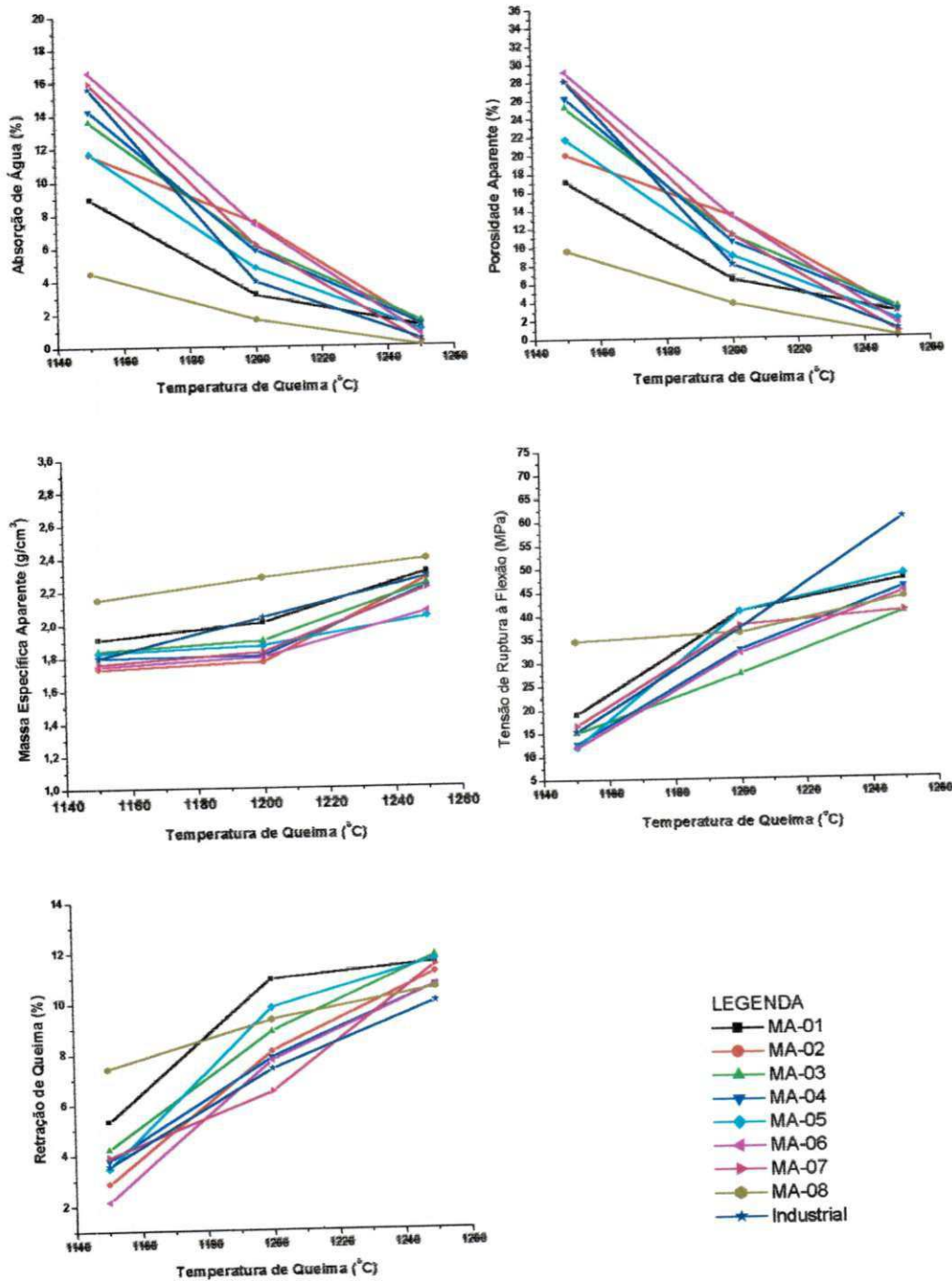


FIGURA 7.13 - Propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos incorporados com resíduos após sinterizados nas temperaturas de 1150° C, 1200° C e 1250° C.

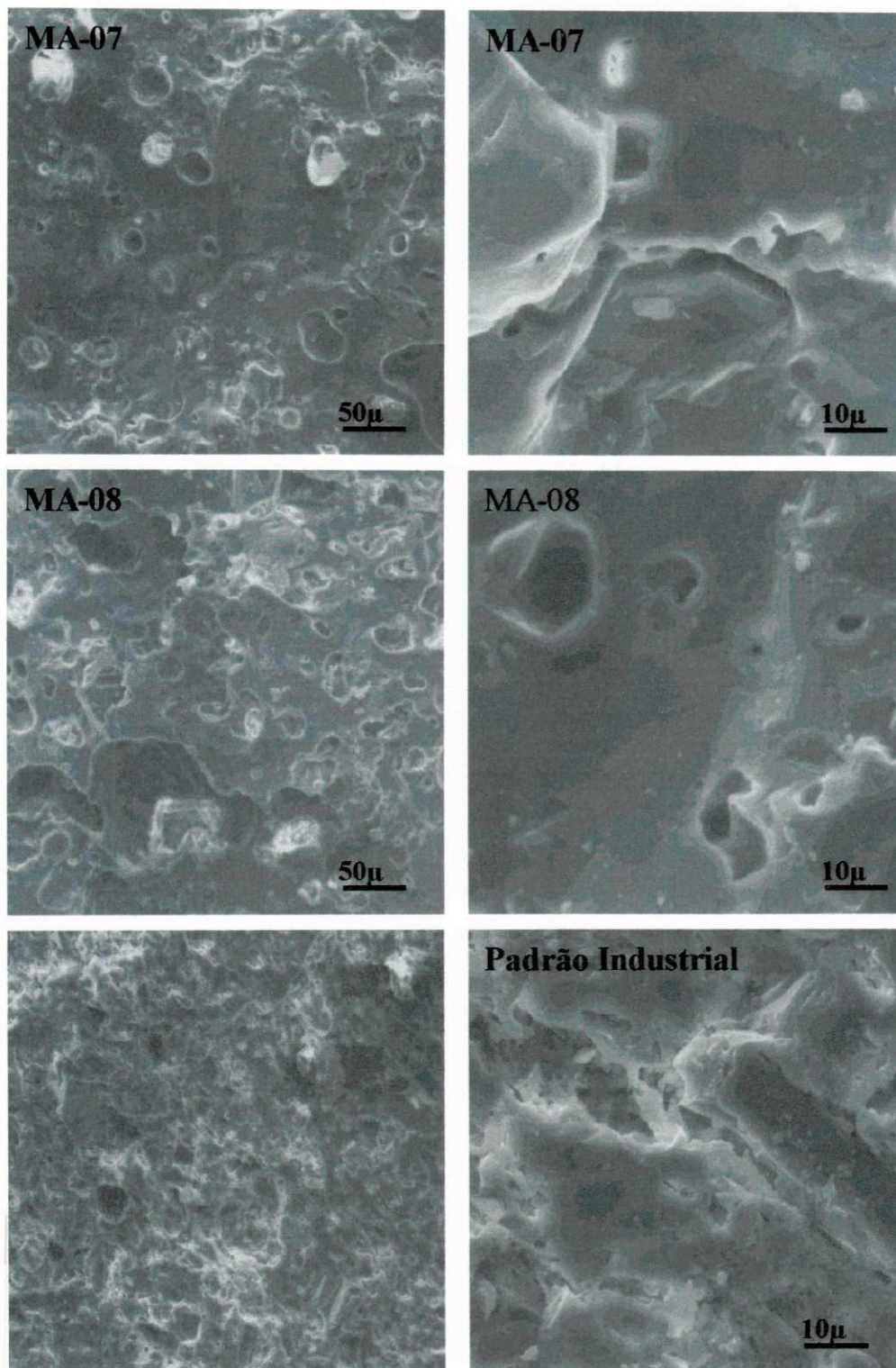


FIGURA 7.14 – Micrografias dos corpos cerâmicos das massas alternativas MA-07, MA-08 e massa padrão industrial.

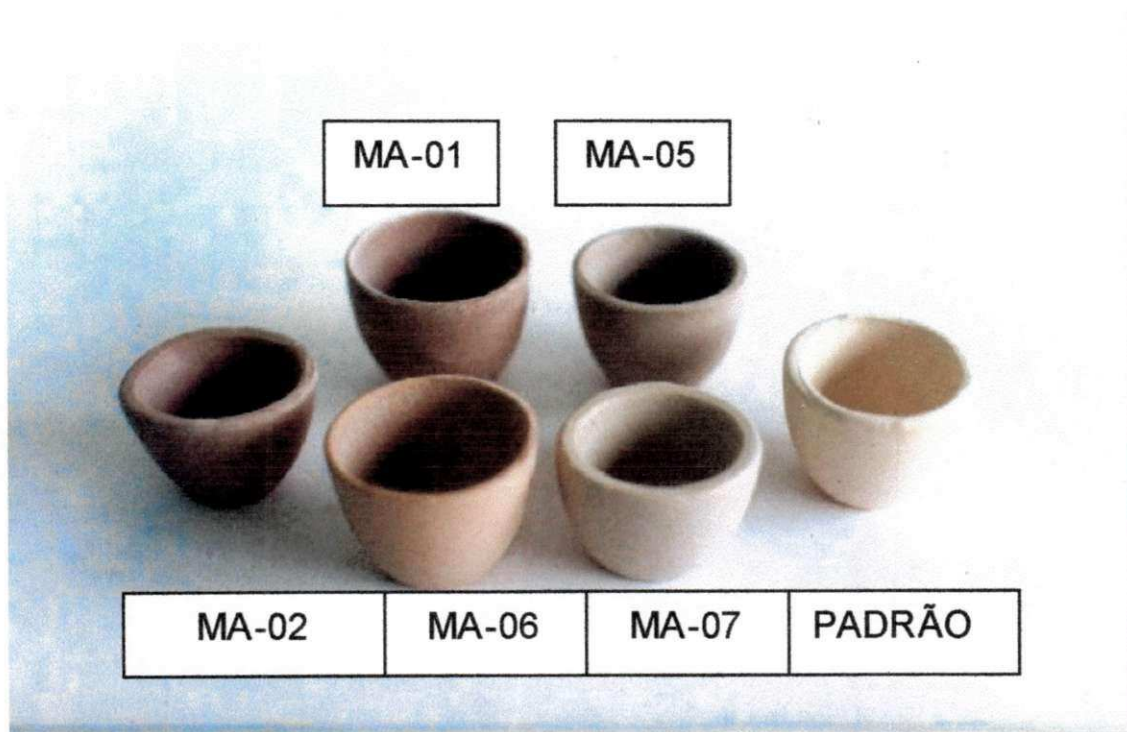
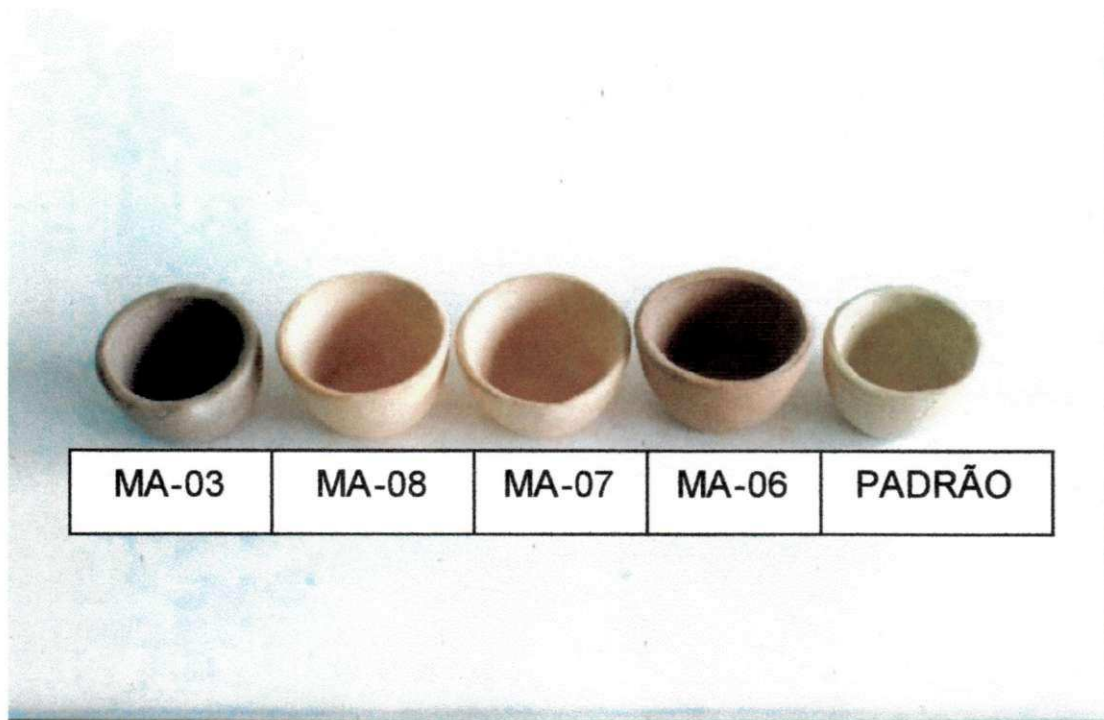


FIGURA 7.15 – Aspecto visual dos cadinhos moldados com as massas alternativas incorporadas com resíduos e o padrão industrial.

Analisado as micrografias contidas na Figura 7.15 verifica-se que as amostras constituídas pela massa padrão ampliadas respectivamente 200X e 1000X evidenciam uma microestrutura com inúmeros poros. A ampliação de 200X mostra um grande número de poros com dimensões variando de aproximadamente entre 25 e 50 μ m. Para ampliação de 1000X pode-se observar muitas descontinuidades com poros de dimensões de aproximadamente de 10 μ m.

As micrografias obtidas com a massa MA-07 incorporada com resíduo ampliadas respectivamente com 200X e 1000X evidenciam uma microestrutura mais compacta do que a massa padrão.

Na ampliação de 200X podem ser observados alguns poros com dimensões entre 25 e 50 μ m apresentando uma estrutura muito mais compacta e continua do que a massa padrão. A ampliação com 1000X apresenta alguns poros com dimensões de aproximadamente 10 μ m e superfícies contínuas indicando um grau de sinterização mais elevado do que as amostras da massa padrão.

As micrografias obtidas com as amostras da massa MA-08 incorporada com resíduo ampliadas respectivamente com 200X e 1000X evidenciam uma microestrutura mais compacta do que a massa padrão e as massas M-07. A ampliação de 200X mostra uma microestrutura ainda mais compacta do que a massa MA-07, com poucos poros e com dimensões variando entre 25 e 50 μ m. A ampliação com 1000X da massa M-08 evidencia-se muito similar à massa MA-07 havendo contudo maior número de poros com dimensões de aproximadamente 10 μ m.

Uma análise comparativa das microestruturas acima descritas em relação à porosidade aparente após sinterização a 1250°C, verifica-se que a massa industrial apresenta uma porosidade aparente de 0,90%, enquanto que as massas MA-07 e MA-08 apresentaram porosidade de 0,56% e 0,17% respectivamente, valores que são, portanto, bastante inferiores aos valores da massa industrial o que é confirmado pela análise microestrutural. Comparando-se as massas MA-07 e MA-08 entre si seria de esperar que as porosidades determinadas fossem mais similares, o que não confirmou-se a partir dos resultados, que apresentaram valores de porosidades de 0,56% e 0,17% respectivamente.

7.7- Conclusões Parciais

Analisando conjuntamente os resultados podemos concluir; que:

7.7.1- Matérias-primas alternativas (resíduos)

7.7.1.1- Resíduos R-01, R-03, R-04 e R-05

- a) os resíduos estudados apresentaram fusibilidades pronunciadas com coloração avermelhada;
- b) após desferrização dos resíduos em estudo, por separação magnética, pode-se observar uma redução na coloração após queima de todas as amostras, sobretudo no resíduo 05, que apresentou uma cor bem clara;
- c) as massas MA-01, MA-02 incorporadas com resíduos no estado natural apresentaram comportamento reológico dilatante, enquanto que as massas MA-03, MA-04, MA-05 e MA-06 após a desferrização apresentaram comportamento reológico pseudoplástico e dilatante;
- d) as massas MA-01, MA-03, MA-04, MA-05 e MA-06 incorporadas com resíduos apresentaram consumos máximos de Na_2O no ponto fluidez inicial e de viscosidade mínima da curva de defloculação na mesma ordem de grandeza do padrão industrial, tomado como referência;
- e) a massa MA-03 apresentou valor de viscosidade mínima na curva de defloculação na mesma ordem de grandeza do padrão industrial, enquanto que as massas MA-01, MA-04, MA-05 e MA-06 apresentaram valores superiores;
- f) as massas MA-01, MA-03, MA-04, MA-05 e MA-06 incorporadas com resíduos apresentaram valores de velocidade de deposição e tempo de secagem inferiores ao da massa padrão tomada com referência;
- g) as massas MA-01, MA-03, MA-04, MA-05 e MA-06 incorporadas com resíduos apresentaram destacamento de regular a bom;
- h) todos os corpos cerâmicos das massas MA-01, MA-03, MA-04, MA-05 e MA-06 incorporadas com resíduos apresentaram cores de rosa-clara a cinza,

- i) todos os corpos cerâmicos das massas MA-01, MA-03, MA-04 e MA-06 incorporadas com resíduos apresentaram tensão de ruptura à flexão e retração de secagem a 110° C superiores ao padrão industrial com exceção da massa MA-05;
- j) todos os corpos cerâmicos de massas MA-01, MA-03, MA-04, MA-05 e MA-06 incorporadas com resíduos apresentaram valores de retração de queima e absorção de água após queima na temperatura de 1250°C similares ao padrão industrial, enquanto que os valores de tensão de ruptura à flexão são um pouco inferiores.

7.7.1.2 - Resíduo R-02

- a) o resíduo apresentou coloração branca após sinterização, sendo indicativo para uso em cerâmica branca;
- b) as massas MA-07 e MA-08 incorporadas com este resíduo apresentaram comportamento reológico pseudoplástico;
- c) as massas MA-07 e MA-08 incorporadas com este resíduo apresentaram consumos máximos de Na₂O no ponto fluidez inicial e de viscosidade mínima da curva de defloculação na mesma ordem de grandeza do padrão industrial, tomado como referência;
- d) a massa MA-08 apresentou valor de viscosidade mínima na curva de defloculação da mesma ordem de grandeza do padrão industrial, enquanto que a massa MA-07 apresentou valor superior;
- e) as massas MA-07 e MA-08 incorporadas com este resíduo apresentaram valores de velocidade de deposição e tempo de secagem inferiores ao da massa padrão tomada com referência;
- f) as massas MA-07 e MA-08 incorporadas com resíduos apresentaram destacamento de regular a bom;
- g) as massas MA-07 e MA-08 incorporadas com resíduo apresentaram cores cremes;
- h) todos os corpos cerâmicos, com as massas MA-07 e MA-08 incorporadas com este resíduo apresentaram tensão de ruptura à flexão e retração de secagem a 110°C superiores ao padrão industrial;

i) todos os corpos cerâmicos com as massas MA-07 e MA-08 incorporadas com resíduos apresentaram valores de retração de queima, absorção de água e tensão de ruptura à flexão após queima na temperatura de 1250°C similares ao padrão industrial.

7.7.2 - Matérias-primas convencionais

a) a argila ball clay 02 e o caulim apresentaram respectivamente, comportamento reológico pseudoplástico e dilatante;

b) a argila ball clay 02 e caulim apresentaram em sua curva de defloculação, respectivamente, consumos máximos de Na₂O no ponto de fluidez inicial e de viscosidade mínima, dentro da faixa de valores preconizada por SOUSA SANTOS (1992).

CAPITULO VIII

CONCLUSÕES

Foram estudadas amostras de resíduos provenientes da serragem de granitos para fins ornamentais das indústrias da Paraíba, Pernambuco e Ceará, visando sua aplicação como matéria-prima cerâmica alternativa, chegando-se às conclusões abaixo enumeradas.

1) Caracterização

- a) os resíduos estudados apresentaram composição granulométrica adequada para uso como matéria-prima cerâmica;
- b) os resíduos R01, R-03, R-04 e R-05 apresentaram um teor de ferro acima de 5%, sendo indicativo de cores avermelhadas após queima. A composição mineralógica é constituída de feldspatos potássico e sódicos, mica, calcita e hematita. Caracterização Ambiental, como sendo Classe II – não inerte e não tóxico;
- c) o resíduo R-02 não apresentou teor de ferro, sendo indicativo de cores claras após queima. . A composição mineralógica é constituída de quartzo e caulinita. Caracterização Ambiental, como sendo Classe III – inerte e não tóxico.

2 - Caracterização Tecnológica

2.1- Cerâmica vermelha

- a) a incorporação de resíduos as massas aumenta os valores de absorção de água e diminui o comportamento mecânico;
- b) com base na caracterização preliminar proposta por SOUZA SANTOS (1992),

Neves, G.A. Reciclagem de Resíduos da Serragem de Granitos para Uso como Matéria-Prima Cerâmica.

todas as composições incorporadas com até 40% de resíduos, após queima nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C, apresentaram potencial de utilização em cerâmica vermelha;

c) com base nos valores limites preconizados por SALGE & BARZAGHI (1982) para blocos maciços, blocos furados e telhas, todas as composições incorporadas com até 55% de resíduos apresentaram potencial de utilização para blocos maciços e blocos furados. Para telhas todas as composições incorporadas com até 40% de resíduos;

d) com base na norma ABNT NBR 7170 (1983) para blocos maciços, todas as composições estudadas foram enquadradas como sendo: Classe A (resistência < 2,5 MPa) todos os blocos cerâmicos com composições incorporadas com 40 a 60% de resíduos; Classe B (resistência < 4,0MPa) todos os blocos cerâmicos com composições incorporadas com 20 a 35% resíduos. É interessante ressaltar que os blocos com adição de resíduos R-03, R-04 e R-05 em teores de 20%, apresentaram resistência à compressão que os enquadram na classe C (resistência > 4,0MPa);

d) em relação à norma ABNT NBR 7171 (1992) para blocos cerâmicos, todas as composições incorporadas com até 55% de resíduos apresentaram valores de absorção de água dentro da faixa especificada (8 a 25%), independentemente do resíduo utilizado. Em relação à resistência à compressão simples, todos os blocos cerâmicos com incorporação entre 40 a 60% de resíduos foram enquadrados como Classe 15 (1,5MPa < resistência < 2,5MPa), todavia os blocos cerâmicos com 60% de resíduos apresentaram absorção superior ao máximo especificado, tal como mencionado anteriormente. Já que os blocos cerâmicos com 20 a 35% de resíduos foram enquadrados como Classe 25 (2,5MPa < resistência < 4,5MPa). Mais detalhadamente pode-se salientar que os blocos cerâmicos com adições dos resíduos R-03 e R-05, em teores de 20%, podem ser enquadrados como Classe 45 (4,5MPa < resistência < 6,0MPa).

e) com base na norma da ABNT NBR 9601 (1986) para telha cerâmicas, todas as composições incorporadas com até 40% de resíduos foram adequadas para produção de telha.

2.2. - Revestimentos cerâmicos

- a) os corpos cerâmicos estudados obtidos com várias composições alternativas incorporadas com resíduos apresentaram classificações segundo a norma da ABNT NBR 13818 (1997), em escala de laboratório como sendo monoporosas (BIII) para temperatura de 1150° C, semiporosas (BIIa) para temperatura 1175°C e semi-grés (BIIb) para temperatura de 1200°C;
- b) em escala piloto os corpos cerâmicos estudados apresentaram classificação como sendo monoporosa (BIII). Os corpos cerâmicos das massas alternativas MPL-4, MF-2, MF-3 e MF-4 apresentaram classificação como sendo semi-porosa (Grupo BIIb);
- c) os revestimentos cerâmicos obtidos a partir da massa padrão moldada industrialmente e queimados em laboratório juntamente com corpos de prova obtidos das massas alternativas moldados em laboratório submetidos aos ensaios previstos na norma ABNT NBR 13818 (1997) apresentaram resultados similares e satisfatórios;
- d) em relação às propriedades térmicas, observa-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram expansões térmicas, coeficiente de dilatação e EPU dentro do limites aceitáveis da especificação da EN 155 (1991) e do Centro Cerâmico do Brasil (1999) e que os percentuais de resíduos incorporados às massas não têm tendência para provocar o fenômeno expansão térmica e de EPU.

2.3 - Grés Sanitário

- a) os resíduos estudados apresentaram fusibilidades pronunciadas;
- b) os resíduos estudados apresentaram após desferrização dos resíduos uma redução na coloração após sinterização;
- c) as massas estudadas apresentaram após desferrização dos resíduos comportamento reológico pseudoplástico e dilatante;

- d) as massas estudadas apresentaram valores de velocidade de deposição, tempo de secagem inferiores a massa padrão e destacamento de regular para bom;
- e) as massas estudadas apresentaram propriedades físico-mecânicas similares ao padrão industrial.

3) Conclusão Final

Este trabalho desenvolvido em escala de laboratório e piloto visando a utilização dos rejeitos da serragem de granitos, como matéria-prima cerâmica alternativa, evidenciou a possibilidade de seu uso em proporções diversas quando da elaboração de massas cerâmicas para produção de blocos cerâmicos, telhas, revestimentos cerâmicos e grés sanitário. Estes usos alternativos além de ser uma contribuição para redução de custos pelo uso de rejeitos, praticamente sem uso industrial atual, também representa uma solução adequada do ponto de vista ambiental por possibilitar a utilização desses rejeitos que apresentam um elevado potencial de poluição principalmente em áreas onde o beneficiamento de granitos para fins ornamentais é efetuado em grande escala.

Deve ser mencionado também que este estudo que se estende desde os ensaios de caracterização físico-mineralógicos, seguido pelos ensaios tecnológicos em escala de laboratório e piloto, necessita ser complementado, para que sua utilização em escala de industrial possa ser adequadamente conduzida de forma a solucionar problemas específicos do processamento industrial impossíveis de serem previstos nesta etapa prévia que tradicionalmente antecede seu uso corrente na de produção industrial.

CAPÍTULO IX

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação da análise granulométrica de solos: método de ensaio - **NBR- 7181**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação do limite de liquidez: método de ensaio - **NBR-6454**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação do limite de plasticidade: método de ensaio - **NBR-7180**. Rio de Janeiro, 1984.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Bloco cerâmico para alvenaria, especificação - **NBR-7171**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tijolo maciço cerâmico para alvenaria, especificações - **NBR-7170**. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos - **NBR-10004**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solubilização de resíduos - **NBR-70006**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Lixiviação de resíduos. - **NBR-7170.** Rio de Janeiro, 1987.

ALLEMAN, J.E. Beneficial use of sludge in building components. Full-scale production of sludge-amended brick. *Interbrick*, v.5, n.11, p.28-32, 1989.

ALEXANDRE, J.; SABOYA, Jr.F.; PEREIRA.; MELO, V.P. Utilização do bagaço de cana de açúcar em massas utilizadas na moldagem de peças cerâmicas vermelhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 42., 1998, Poços de Caldas, MG. Anais. Poços de Caldas, Associação Brasileira de Cerâmica, 1998. p.287-290.

AMARAL, S.P.; DOMINGUES, G.H. Oily wastes application in ceramic materials manufacturing. *Water Science and Technology*, v.24, n.12, p.165-176, 1991.

ANONIMO. O desenvolvimento da tecnologia de serragem do granito. *Rochas de Qualidade*, São Paulo, v.19, n.98, p.18-27, 1998.

ANÔNIMO.(Sociedade Francesa de Cerâmica). Processo de separação e purificação das rochas tendo vista seu uso em cerâmica. *Cerâmica*, v.1, n.3, p.106-107, 1965.

ANGELERI, F.B.; MCLAREN, M. Estudo da influência de fases minerais micáceas e de alto teor em ferro em granitos e pegmatitos empregados em louça sanitária no Brasil. *Cerâmica*, v.25, n.113, p.107-129, 1979.

ANGELERI, F.B. Caracterização de argilominerais para a indústria de louça sanitária. *Cerâmica*, v.21, n.82, p.85-92, 1975.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Departamento Nacional de Pesquisa Mineral(DNPM), 1997.

ANDERSON,M.; JACKSON,G. The beneficiation of power station coal ash and its use in heavy clay ceramics. Trans. Br.Ceram.Soc. v.1,n.82, p.50-55,1983.

ARCOVERDE,S. Sumário brasileiro de mineração. Departamento Nacional de Pesquisa Mineral,1997.

ARAÚJO,S.M. Introdução à ciência do ambiente, notas de aulas. Departamento de Engenharia Civil,UFPB,1995.

AZAMBUJA,J.C.; SILVA, Z.C.G. Estudo dos mármore e granitos, Boletim do DNPM, São Paulo,1977.

BARRETO,A.J.B.; MENDES,D. Aproveitamento energético de rejeitos industriais na produção de tijolos, avaliação das emissões geradas na queima e impactos ambientais. Nota Técnica NT/PPE/92-02,1998.

BARROTTE,L.G. Utilização de rejeitos (cacos) de mármore em massas cerâmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44.,2000, São Pedro, SP. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, São Pedro,2000. p.2201-22011.

BARBA,A.;BELTRAN,V.;FELIU,C.;GARCIA.J.;GINÉS,F.; SÁNCHEZ,E.; SANZ.V. Matérias primas para la fabricación de suportes de baldosas cerâmicas. Instituto de Tecnologia Cerâmica- AICE, 1997.292p.;25cm. ISBN 84-92.3176-0-4.

BARBIERI, L.; CORRADI, A.; LANCELLOTTI, I. Alkaline and alkaline-earth silicate glasses and glas-ceramics from municipal and industrial wastes, Journal of the European Ceramic Society, v.20, 2000a. p.2477-2483

BARBIERI, L.; CORRADI, A.; LANCELLOTTI, I. Bulk and sintered glass-ceramics by recycling of municipal incinerator bottom ash. Journal of the European Ceramic Society, v.20, p.1637-1643. 2000b.

BAZADJIEV, V.; GEORGIEVA, E.; DIMOVA, T. Use of flotation capper ore tailings in tile and brick bodies. *Tile & Brick int*, v.7, n. 61, p.426-429, 1991.

BASEGIO, T.M.; BERUTTI, F.A.; BERGMANN, C.P. Aspectos ambientais no uso de lodo de curtume como matéria-prima para cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45., 12001, Florianópolis, SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis, 2001. p.501-511.

BERETKA, J.; TAYLOR, A. Use of granite for making aerated concrete and ceramics. *Key Engineering Materials*, n.53/55, p.512-517, 1991.

BELKAKOV, A.V.; KOMISSAROV, S.A.; KORCHUGANOVA, T.M. Utilization of wastewater precipitates from tanneries in production of construction ceramics. *Glass and Ceramics*, v.53, n.3/4, p.65-69, 1998.

BLASCO, F.A.; GINES, J.C.F.; MONFORT, J.C. Adicion de fangos reciclades a composiciones de pavimentos y revestimentos cerámics. *Técnica Cerâmica* n.195, p.470-483, 1992.

BOCCACCINI, A.R.; JANCZAK, J.; TAPLIN, D.M.R.; KOPF, M. The multibarriers-system as materials science approach for industrial waste disposal and recycling: application of gradient and multilayered microstructures. *Environmental Technology*, v.17, n.11, p.1193-1203, 1996.

BRANCO, R.M.G.C.; SIDRIM, A.C.G.; MARINHO, J.M.L.; SCHORTL, H.A. Geologia do pegmatito da região de São João do Aruaru, Município de Morada Nova, Ceará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, XII., 1986, João Pessoa-PB. Anais. João Pessoa, Sociedade Brasileira de Geologia, 1986. p.320-322.

BRITO, A.F.L. Rochas ornamentais da Paraíba, CDRM/DGM. Informações Pessoais, Campina Grande-PB, 2000.

BRASCO,A.; ESCARDINO,A.; BUSANI,G.; MONFORT,E.; BURRAGATO,F.; PELINO,M. New materials from industrial and mining wastes:glass-ceramics and glass and rock-wool fibre. *International Journal of Mineral Processing*, v.53 n.1/2, p.121– 134,1998.

CAIADO,M.A.C.; MENDONCA,A.S.F. Impactos de atividades de exploração de mármore e granito sobre a qualidade de água de bacias hidrográficas, coletânea de trabalhos de Espirito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL,18.,1995, Salvador,BA. Anais. Salvador, ANTAC,1995. p.54-59.

CALMON,J.L.; TRISTÃO,F.A.; LORDÉLLO,F.S.S.; SILVA,S.A.C.; MATTOS,F.V. Aproveitamento resíduo de corte de granito para a produção de argamassas de assentamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II.,1997, Salvador, BA. Anais. Salvador, ANTAC,1997. p. 40-49.

CALMON,J.L.; TRISTÃO,F.A.; LORDÉLLO,F.S.S.; SILVA,S.A.C.; MATTOS,F.V. Aproveitamento resíduo de corte de granito para a produção de tijolos de solo-cimento. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUTIVO E QUALIDADE NO PROCESSO CONSTRUTIVO, VII, 1998, Florianópolis,SC. Anais, Florianópolis, ANTAC,1998. p. 859-907.

CALARGE,L.M.; SANTOS,SS.; SHERER,A.R.; KAZMIERCZAK,C.; MACHADO,C.G.S.; BARTTISTL,S. Caracterização de resíduo industrial inorgânico para o aproveitamento como matérias-primas cerâmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43.,1999, Florianópolis, SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis,1998. p.287-290.

CALIL,S.F. Propriedades reológicas de barbotinas de algumas argilas e caulins brasileiros utilizados em cerâmica sanitária. São Paulo,SP. 107p. Dissertação(Mestrado) em Engenharia Química, EPUSP, Universidade de São Paulo, 1972.

CAPUTO, H.P. Mecânica dos solos e suas aplicações. 2.ed. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico S/A, 1972.2v

CAMPOS, L.F.A.; FERREIRA, H.C.; MACEDO, R.S. Características de plasticidade de argilas para uso em cerâmica vermelha ou estrutural, v.45, n.295, 1999. p.140-145

CARANASSIOS, A.; CICCU, R. Tecnologia de extração e valorização das rochas ornamentais. Rochas de Qualidade, v.27, n.109, p.58-77, 1992.

CAVALCANTE, J.R.; CHERIA, F.M. Ensaio de avaliação para controle ambiental de materiais com resíduos incorporados. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COM MATÉRIAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL. 1996, São Paulo, SP. Anais. São Paulo, WORKSHOP, 1996. p: 31-37.

CARVALHO, E.A.; OLIVEIRA, E.M.S.; SANTOS, R.S.; MONTERIO, S.N. Utilização de resíduo oleoso em tijolos de argila queimados. In: CONGRESSO ANUAL DE ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS, 53º., 1998, Belo Horizonte-MG. Anais. Belo Horizonte, Associação Brasileira de Metais, 1998.

CARDOSO, S.R.F.; SOUZA SANTOS, H.; COELHO, A.C.V.; SOUZA SANTOS, P. Caracterização e propriedades cerâmicas de alguns caulins e argilas usadas em cerâmica branca no Estado de São Paulo. Cerâmica Industrial, v.3, n.3, p.47-57, 1998.

CARUSO, L.G. Extração e utilização de rochas ornamentais. Rochas de Qualidades, v.15, n.83, p.7-10, 1985.

CDRM. Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba. Mapa geológico da Paraíba, Campina Grande-PB, 1982. Escala 1:50.000.

DINIS,P.; ROCHAS,F.; MARQUES,J.C.; GOMES,C., Caracterização de pegmatitos feldspáticos de Pinheiros, Aguiar da Beira, como matérias-primas cerâmicas. In: Anais do ENCONTRO DA SOCIEDADE PORTUGUESA DE MATERIAIS, 9º., 1999, Guimarães, Portugal. Anais. Guimarães, University of Minho,1999. Vol. 1, p.305-310.

DIAS,J.F.;JOHN,W.M. Reciclar por que?. Cerâmica Estrutural, Criciúma -Santa Catarina, Julho de 2001, N° 24, p.2.

DOMINGUES,E.A.; UILMANN,R. "Ecological bricks" made with clay and steel dust pollutants. Applied Clay Science, v.11,n.2/4, p. 237-249,1996.

DONDI, FABBRI & MARSIGLI, Resenha das experiências de reciclagem de resíduos industriais e urbanos na produção de tijolos. Cerâmica e Informação.v.1,n.11/12,p.17-30,1998.

ELWAN,M.M.; HASSAN,M.S. Recycling of some egyptian industrial solid wastes in clay bricks. Industrial Ceramics,v.18,n.1, p.1-6,1998.

ENBRI. Development of a framework for environmental assesement of building materials an componentes.(ENBRI Proposal to European Community BRITE EURAM Program). Mimeo, 18 mar. 1994.

ENRIQUE,J.; BELTRAN,V.; NEGRES, F. Tratamiento de emisiones gaseosas, efluentes liquidos y residuos sólidos de las industrias cerámicas: Instituto de Tecnologia Cerámica,1992.

EROL, M.; GENÇ, A.; ÖVECOGLU, M.L.; YÜCELEN, E.; KÜCÜKBAYRAK, S.; TAPTIK, Y. Characterization of a glass-ceramic produced from thermal power plant fly ash, Journal of the European Ceramic Society, v.20, 2000. p.2209-2214

EROL, M.; KÜCÜKBAYRAK, S.; ERSOY-MERICBOYU, A.; ÖVECOGLU, M.L. Crystallization behavior of glasses produced from fly ash. *Journal of the European Ceramic Society*, v.21, p.2835-284,1 2001.

EUROPEAN STANDARD, Ceramic tiles. Determination of moisture expansion using boiling water-unglazed tile, EN 155, 1991.

EZZ-ELDIN, F.M. Leaching and mechanical properties of cabal glasses developed as matrices for immobilization high-level wastes. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, v.183, p.285-300, 2001.

FABBRI, B.; FIORI, C.; RAVAGLIOLI, A. Fanghi scarti e scorie industriali. *Materie Prime Ceramiche*, Faenza Editrice, v.1, p.107-108, 1993.

FACINCANI, E.; BORRONI, E. Impiego di fanghi provenienti da impianti ceramici di smaltatura per il miglioramento qualitativo di prodotti di laterizio. *Pro. 7th CERP Conference*(1987).

FERREIRA, H.C. Caracterização e aplicações industriais de argila, caulins e feldspatos do nordeste brasileiro (Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte). São Paulo-SP, 1973. 352p. Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

FERREIRA, H.C.; CHEN, T.J.; SOUZA SANTOS, P. Áreas específicas de caulins e argilas pelo azul de metileno. *Cerâmica*, v.18, n.71, p.333-340, 1972.

FERREIRA, J.M.F.; ALVES, H.M.; MENDONÇA, A.M. Inertization of galvanic sludges by its incorporation in ceramic products. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica e Vidrio*, v.38, n.2, Mar-April, 1999.

FERREIRA, H.S.; NEVES, G.A.; FERREIRA, H.C. Caracterização ambiental de resíduos provenientes da serragem e polimento de rochas graníticas. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 46.,2002, São Paulo, SP. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, São Paulo,2002.

FELLENBERG,G. Introdução aos problemas da poluição ambiental. 2ª .ed. São Paulo. USP, 1980, pp193.

FIEC – Federação das Industrias do Estado do Ceará, Estudo econômico sobre rochas ornamentais – Mercado Nacional. Ceará. Instituto Euvaldo Lodi, v.2. 1992.

FILHOS,C.D.; RODRIGUES,E.P. Quadro setorial brasileiro das rochas ornamentais e de revestimento de mármore e granitos. Rochas de Qualidade, v.27,n.147,p.86 –104,1999.

FLAIN,E.P. Seminário discute o uso e a especificações de rochas ornamentais. Rochas de Qualidade, v.27,n.125, p.82-84,1999.

FLORENÇO,R.V.S. Obtenção de produtos de cerâmica estrutural fabricados com matérias-primas do subgrupo Itararé e com resíduos industriais derivados do beneficiamento do xisto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45.,2001, Florianópolis, SC. Resumo. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis,2001.

FREIRE,A.S.; MOTA,J.F. Potencialidades para o aproveitamento econômico do rejeito da serragem do granito. Rochas de Qualidade, v.16,n.123, p.98-108,1995.

GAMBARO,F.; GIORDANI,M.; FERRAIOLA,G. L' impiego delle ceneri volanti in utilizzazioni industriali. La Ceramic, v.1,p.7-10,1997.

GERMAN,R.M. Sintering theory and practice. John Wiley & Sons, New York, 1996.

GEISER,R.R. Preservação ambiental. Rocha de Qualidade, n.95, P.11-12,1998,.

GLEIZER,P.; **ROMAN,H.R.** The use of flay ash and furnace bottuar ash to produce brick. 10 th International Brick / Block Maronry Conference - Calgany, Canada, Julho, 1994.

GOMES,C.M.; **AMORIM,L.V.;** **NEVES,G.A.;****FERREIRA,H.C.** Expansão por umidade (EPU) em massas alternativas para revestimentos cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 14., 2000,São Pedro,SP. Anais. São Pedro, 2000. p.279-282.

GPI. Glass Packaging Institute Solid Waste & Recycling Policy. <[http\www.gpi.org/swp2.htm](http://www.gpi.org/swp2.htm)> .Acesso em 15 de setembro de 1996.

GREGO, M.I.B.M.; **MORENO, M.M.T.;** **VALARELLI, J.V.** Rejeito da lixivia da glicerina (Piche) como aditivo em massa cerâmica composta por argilas da formação Tatui, para fabricação de blocos de vedação extrudados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 42., 1998, Poços de Caldas,MG. Anais. Poços de Caldas, Associação Brasileira de Cerâmica, 1998. p.279-282.

GREGO,S.M.C. Licenciamento ambiental para atividade de extração. Rochas de Qualidades, v.29,n.151,p.116 –122, 2000.

GRINOVER,L. O planejamento físico-territorial e a dimensão ambiental. Cad. FUNDAP, São Paulo,v.9,n.16, p.25-32,1989.

GRN. Glossary of recycling terms. [http\ ass packaging Institute Solid Waste & Recycling Policy.< http\www.grn.com/libra/gloss-t.htir>](http://www.gpi.org/swp2.htm) Acesso em 17 de setembro,1996.

GUALTIERI, A.F.; **TARTAGLIA, A.** Thermal decomposition of asbestos and recycling in traditional ceramics, Journal of the European Ceramic Society, v.20, p.1409-1418, 2000.

HENRIQUE, M.F.JR.; BARRETO, A.J.B.B.; TAPIA, R.S.E.C. Uso da turfa na massa cerâmica para fabricação de tijolos vermelhos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 35., 1998, Belo Horizonte, MG. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Belo Horizonte, 1991. p.285-288.

HERMAN, D. Glass and glass-ceramic binder obtained from waste material for binding alundum abrasive grains into grinding wheels. *Ceramics International*, v.24, p.515-520, 1998.

ISSO 13006.2, Ceramic tile – Definitions, classification, characteristics and marking, 1995.

JOHN, V.M.; CAVALCANTE, J.R. Reciclagem de resíduos como materiais de construção. In: WORKSHOP. 1996, São Paulo-SP. Anais. São Paulo, USP, ANTAC, 1996.

JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos na construção civil. São Paulo, SP, 2000. 102p. Tese (Livre Docência), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LACERDA, C.A. O Impacto do crime ambiental na mineração. *Rochas de Qualidades*, v.27, n. 141, p.124 –129, 1998.

LEMESHEV, V.G.; PETROV, S.V.; EGOVA, L.S. Construction ceramics based on glass waste. *Glass and Ceramics*, v.53, n.9/10, p.261-261, 1995.

LEVY, S.M. Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concreto, São Paulo, SP, 1997. 200p. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP).

LIMA, F.T.; GOMES, J.; NEVES, G.A.; LIRA, H.L. Utilização do resíduo industrial resultantes do beneficiamento de caulim para fabricação de revestimentos cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45., 2001,

Florianópolis-SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis-SC, 2001. p.1501-1512.

MACÊDO,A.B. Mineração e desenvolvimento sustentável. Ed.01,V.1,p.153-155,1989.

MACÊDO,R.S. Estudo das matérias-primas e tijolos cerâmicos furados produzidos no Estado da Paraíba. Campina Grande,PB, 1996. 200p. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

MARABINI,A.M.; PLESCIA.P.; MACCAR,F.; FURUTA,S.; NAKAO,H.; KATSUKL,H. Preparation of porous ceramics from industrial-waste silica mineral. Journal of Materials Science Letters, v.12,n.5 p.286-287,1993.

MANUKYAN,R.V.; DAVYDOVA,N.S. Use of waste in the ceramics industry. Glass and Ceramic,v. 53,n.7/8,p. 247-248,1996.

MARMS,W.; SCLMEIDER,H.; EICHLER,W. Potentialities for the utilization of metal hydroxide slurry for masonry brick production. Ziegelindustrie Int.n.3,p.110-126,1997.

MELO,K.E.V.; CASTRO,L.M. Avaliação econômica dos granitos do Estado do Ceará. Companhia Cearense de Mineração (CEMINAS), Fortaleza-CE,1989.

MELO,K.S.; NEVES,G.A; FERREIRA,H.C. Aproveitamento de resíduos da serragem de granitos para confecção de tijolos e telhas cerâmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45.,2001, Florianópolis-SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis-SC, 2001. p.2701-2711.

MENEZES,R.R.; NEVES,G.A.; FERREIRA,H. C. Utilização de resíduos industriais da produção de agregados na produção de tijolos e telhas. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45.,2001, Florianópolis-SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis-SC, 2001. p.2712-2723.

MESAROS,R. Use of sludge from the municipal sewage system from brick-making. New life for an obsolescent brickworks. *Ziegelindustrie Int.*v.5,p.251-254,1989.

MIRANDA,E.A.P.; NEVES,G.A. Utilização de resíduos de caulim e granito para composição de massas plásticas na confecção de grés cerâmicos. IN: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFPB,VIII., 2000, João Pessoa,PB. Resumo. João Pessoa. Pró Reitoria de pós Graduação e Pesquisa, UFPB,2000. p.158. Relatório Parcial de Bolsa de Iniciação Científica- PIBIC/CNPq/DEMa/CCT/UFPB, Março de 2000.

MIRANDA,E.A.P.; NEVES,G.A.; LIRA,H.L. Utilização de resíduos de caulim e granito para uso como matérias-primas cerâmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45.,2001, Florianópolis-SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis-SC, 2001. p.2701-2713.

MISHRA, S.C.; ROUT, K.C.; PADMANABHAN, P.V.A.; MILLS, B. Plasma spray coatings of fly ash mixed with aluminium powder deposited on metal substrates. *Journal of Materials Processing Technology*, v.102, 2000. p.9-13

MONTANO, L.; BIANCHINI, N.; RINCÓN, J.M.; ROMERO, M. Sintering behavior of pressed red wastes from zinc hydrometallurgy. *Ceramics International*, v.27, p.29-37, 2001.

MOTHÉ FILHO,H.F.; POLIVANOV,H.; MOTHÉR,C.G. Propriedades térmica e mecânica do cerâmico obtido com rejeito da indústria do granito e do mármore. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45.,2001, Florianópolis, SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis,2001. p.6401-6412

MORAIS,C.R.S.; OLIVEIRA,M.R.P.; NEVES,G.A.; PATRICIO,S.M.R. Estudo comparativo das propriedades físico-mecânicas de argamassas de revestimentos, confeccionadas em laboratório e argamassas industrializadas, visando a utilização de resíduos de mármore. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 42.,1998, Poços de Caldas-MG,. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Poços de Caldas, 1998. p.285-288.

MOURA,FA.P.; SANTOS, C.R. Projeto mármore e granito da Paraíba. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, XII. 1986, João Pessoa-PB,. Anais. João Pessoa, Sociedade Brasileira de Geologia, 1986. p.3430-3451

MONFORT,E.; ENRIQUE,J.E. Economia energética e vantagens meio ambientais da reutilização de resíduos .Cerâmica Industrial, v.01,n.4/5, 1996.p.14-20

MONTEIRO,S.N.; CARVALHO,E.A.; OLIVEIRA,M.S.S.; SANTOS,R.S. Efeitos da incorporação de resíduos oleosos nas propriedades de cerâmicas vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 13º.,1998, Curitiba-PR. Anais. Curitiba, CBECIMAT, 1998. p.2835-2844.

MOTTA,J.F.M.; ZANARDO,A.; NAVARRO,F.C. Rochas miloníticas de Piedade(SP) como matéria-prima fundente para indústria cerâmica: potencial geologia e características cerâmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999,Florianópolis-SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis, 1999.

MUSSOLIN,S.; DONECA.; VITÓRIO,C.; ALARCON,O. Caracterização do fonólito utilizado na formulação de pavimentos cerâmicos. Cerâmica Industrial,v.1,n.02, p.23-29,1996.

NEVES,G.A.; FERREIRA,H.C.; SILVA,M.C.; Utilização de resíduos da serragem de granito para confecção de tijolos cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO

DE CERÂMICA, 43., 1999, Florianópolis-SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis, 1999.

NEVES,G.A.; FERREIRA,H.C.; SILVA,M.C.; PATRICIO,S.M.R. Utilização de resíduos da serragem de granito para confecção de tijolos cerâmicos. Interação, Campina Grande,PB, v.1,p.3-8,2000.

NEVES,G.A.; FERREIRA,H.C.; SILVA,M.C. Aproveitamento de resíduos da serragem de granito para confecção de tijolos e telhas cerâmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45., 2001, Florianópolis-SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis, 2001. p.2701-2713.

NEVES,G.A.; MIRANDA,E.A.P.; LIRA,H.L. Utilização de resíduos de caulim e de granito como matérias-primas cerâmicas. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45.,2001, Florianópolis-SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis-SC, 2001. p.2701-2711.

NEVES,G.A.; SANTOS,A.E.F.; FERREIRA,H.C. Expansão por umidade de revestimentos cerâmicos com resíduo de granito. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45.,2001, Florianópolis-SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis-SC, 2001. p.1801-1813.

NEVES,R.F.; SOUZA,A,J.A.S.; HILDELBRANDO,E.A. Aplicação do rejeito do processo Bayer(lama vermelha) como matéria-prima na indústria de cerâmica estrutural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999, Florianópolis-SC. Anais. Florianópolis, Associação Brasileira de Cerâmica, 1999b.

NERY,M.A.C.;SILVA,A.S. Rochas ornamentais e de revestimento. In: SUMÁRIO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (SBM). Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM), 2001.

NITES(Núcleo Regional de Informação Tecnológica do Espírito Santos)., Estudo

geológico sobre mármore e granitos. *Rochas de Qualidade*, v.24,n.110, p.78 – 81,1994.

NOGUEIRA,R.E.F.; FILHO,V.X.L.; FERNANDES,A.H.M.; VIDAL,F.W.H. Determinação de parâmetros para a racionalização do corte e polimento de Rochas Graníticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 13º., 1998, Curitiba-PR. Anais. Curitiba, CBECIMAT,1998. p.463-4644.

NORTON,F.H. Introdução à tecnologia cerâmica 1.ed. São Paulo.Volume I. Edgar Blucher Ltda, 1973.

OBRMEIER,H.F.; VIEIRA,V.N. Adição de resíduos industriais à massa cerâmica para redução de consumo de combustíveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 42.,1998, Poços de Caldas-MG. Anais. Poços de Caldas, Associação Brasileira de Cerâmica, 1998. p:236-238.

ORTELLI,G.; VINCENZINI,P. Influenza di aggiunte di fanghi coramici sullattitudine alle efflorescenze di una argila da laterizi. *Ceramurgia*, v.3, p.241-246,1993.

OLIVEIRA,H.A.;CUNHA,E.S.;GIBO,R.M.;BRESSIANI,J.C. Aproveitamento de resíduo do processo de fabricação de papel em massas de revestimento tipo semi gres. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999, Florianópolis-SC. Anais. Florianópolis, Associação Brasileira de Cerâmica, 1999. p. 02201-02010.

OLIVEIRA,M.C.A.; RODRIGUES,E.P. Aproveitamento de rejeitos da mineração e beneficiamento de ardósia na fabricação de cerâmica vermelha para construção civil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45.,2001, Florianópolis, SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis,2001. p.601-612.

PATRICIO,S.M.R.; NEVES,G.A.; FERREIRA,H.C. Aproveitamento dos resíduos provenientes do corte e/ou polimento de granitos para confecção de tijolos.In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 13º., 1998, Curitiba, PR. Anais. Curitiba, CBECIMAT,1998. p.2835-2844.

PALHARES,L.B.; MANSUR,H.S. Desenvolvimento de um processo de fabricação de peças cerâmicas a partir de rejeitos de ardósia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 13º, 1998, Curitiba - PR. Anais. Curitiba, CBECIMAT,1998. p.3430-3438.

PADILHA,A.F.; AMBROSIO FILHO,F. Técnicas de análise microestrutural. Ed. Hemus, São Paulo-SP,1987.

PALMONARI,C.; TENAGLIA,E. Manufacture of heavy-clay products with the addition of residual sludges from other ceramic industries. Miner. Petrogr.Acta 1985,29/A, p. 547-562.

PAVLOVA,L. Use of industrial waste in brick manufacture. Tile & Brick, v.12,n.31, p.224-225, 1996.

PETRUCCIO,E.G.R. Materiais de construção. 13.ed. Porto Alegre: Globo,1995. 435p

PEREZ,J.A.; TERRADA,R.; MANENT,M.R.; SEIJAS,M.; MARTINEZ.S. Inertization of industrial wastes in ceramic materials. Industrial Ceramics,v.16,n.1,p.7-10,1996.

PELINO,M.; CANTALINE,C.; RINCON, J.M. Preparation and properties of glass-ceramic materials obtained by recycling goethite industrial waste. Journal of Materials Science,v.1,p.39,1996.

PELINO, M. Recycling of zinc-hydrometallurgy wastes in glass and glass-ceramic materials, *Waste Management*, v.20, p.561-568, 2000.

PISCIELLA, P.; CRISUCCI, S.; KARAMANOV, A.; PELINO, M. Chemical durability of glasses obtained by vitrification of industrial wastes, *Wastes Management*, v. 21, p.1-9, 2001.

PONTES, I.F. Aproveitamento de finos gerados nas serragens de mármore e granitos. São Paulo, 2000. 150p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

PONTES, I.F.; JÚNIOR, A.S. Aplicação de rejeitos dos teares do Espírito Santo na indústria cerâmica. *Rochas de Qualidade*, n.161, p.118-125, 2001.

QUINTANA, L.M.H.; SOARES, J.M.D.; FRIZO, P.P.; BOHRER, L.D. Utilização de cinza de casca de arroz na produção de cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999, Florianópolis-SC. Anais. Florianópolis, Associação Brasileira de Cerâmica, 1999.

QUINTERO, E. Efeito das características de pós granulados sobre o processamento e qualidade de revestimento cerâmicos. São Carlos, SP, 1996. 159p. Dissertação (Mestrado) em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, SP, 1996.

RAIGON, P.M.; RAMOS, G.; SANCHEZ, S.P.J. Characterization of waste washing solid product of mining granitic tin-bearing sands and its application as ceramic raw material. *Resources Conservation and Recycling*, v.17, n.2, p.109-124, 1998.

RAMIRES, M.V.V.; SANTOS, I.S.S.; KAZMIERCZAK, C.S.; SILVA, H.C.; KERN, A.P.; CAMARGO, S.A. Incorporação do resíduo (lodo) da estação de tratamento de água de São Leopoldo-RS nas misturas de argilas para fabricação de componentes cerâmicos conformados por prensagem. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45.,2001, Florianópolis, SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis,2001. p.301-308.

ROMERO,M.; **RINCON,J.M.** Microstructural characterization of a goethite waste from zinc hydrometallurgical process. *Materials Letters*, v.31,n.1/2, p.67-73,1997.

ROSA,F.G.; **FOLGUERAS,M.V.;** **LONGO,E.L.;** **CECHENEL,A.;** **NOVAIS,A.PO.;** **HORTZA,D.** Caracterização de resíduos industriais para uso na composição de massas cerâmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999, Florianópolis-SC. Anais. Florianópolis, Associação Brasileira de Cerâmica, 1999. p 09601-09612.

ROMANO,R.; **MORENO,M.M.T.** Reaproveitamento dos rejeitos de engobe e esmalte nas massas para revestimentos cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45.,2001, Florianópolis, SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis,2001. p.201-212.

SANT'AGOSTINO,L.M., Caracterização de granitos para aproveitamento como matéria-prima para vidro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 42º., 1998, Poços de Caldas –MG. Anais. Poços de Caldas, Associação Brasileira de Cerâmica, 1998. p. 101-105.

SABRAH,B.A.; **EBIED,E.A.** Utilization of cement-dust as a substitute of some clay content in clay. *Interbrick*, v.1,p.5129-5137,1987.

SALGE,A.; **BARZAGHI,L.** Resistência à flexão e moldagem de argilas. *Cerâmica*, v.28,n.151, 1982.

SANTOS,F.S.S.; **CALARGE,L.M.;** **SCHERER,A.R.;** **KAZMIERCZAK,C.;** **MACHADO,C.G.S.** Aproveitamento de resíduo industrial para aplicação em componentes construtivos tijolos e blocos cerâmicos para habitação de interesse social. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL-GERENCIAMENTO DE RESÍDUO E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL, II., 1998, Rio

de Janeiro-RJ. Anais. Rio de Janeiro, ANTAC, 1998. p. 148-152

SANTOS,I.S.S.; SCHERER,A.R.; KAZMIERCZAK,C.; MACHADO,C.G.S.; CALARGE,L.M. Ensaio tecnológicos de argila da região do vale do Rio do Caí,RS, para aplicação em cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 39.,1995, Água de Lindóia, SP. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica. Água de Lindóia 1995. p.407-412

SANTOS,I.S.S.; SCHERER,A.R.; KAZMIERCZAK,C.; MACHADO,C.G.S. Reciclagem do resíduo(lodo) da estação de tratamento de água do município de São Leopoldo –RS, visando a produção de componentes cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45.,2001, Florianópolis, SC.Resumo. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis,2001a.

SANTOS,A.R.; MORENO,M.M.T.; MIJOLARO,W.; PRADO,A.C.A.; DIAS,E.M. Avaliação do potencial de uso do rejeito proveniente do minério fluorapatítico de Calão-GO e Araxá-MG, como aditivo em massas básicas industriais cerâmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45.,2001, Florianópolis, SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis,2001b. p.601-612

SACHS,I.E., Environmental quality management and development planning: some suggestions for actions. Development and Environment, Paris, Mouton, 1986.

SAUTEREY,R. Allocucion d`ouverture in colloque international sur l`utilization des sous: Produits et Déchets Dans le Genie Civil, Paris , 1978. Proceeding Paris , Aaieenpc, V. 1,p 37-42, 1978.

SEABRA,F; DARÓS,L.L. ISO 14000 e a competitividade da indústria têxtil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL- GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL, II, 1998, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, DEFESA DO MEIO AMBIENTE 1998. p.24-30

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Departamento Regional do Espírito Santo. Processo de produção em serrarias de mármore e granito. Rocha de Qualidade, v.25,n.112,p.118-122,1993.

SILVA,N.L.W.; ZWONO,K.O.; CHIES,F. Artefatos cerâmicos obtidos a partir de misturas entre argilas e cinzas de carvão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 41., 1997,Criciúma-SC. Anais. Criciúma, Associação Brasileira de Cerâmica, 1997. p.285-288.

SILVA,N.L.W.; ROCHA,P.V.H. Incorporação de lodo orgânico fibroso em argila para a produção de componentes de cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 41.,1992, Criciúma-SC. Anais. Criciúma, Associação Brasileira de Cerâmica, 1999. p.850-856

SILVA.S.A. Caracterização do resíduo da serragem de blocos de granitos. Estudo do potencial de aplicação na fabricação de argamassas de assentamento e de tijolos de solo-cimento. Vitória,ES, 1998a.159p. Dissertação(Mestrado) em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, 1998.

SILVA,N.I.W.; CALARGE,L.M.; CHIES,F.; MALLMAN,J.E.; ZWONOK,O. Caracterização de cinzas volantes para aproveitamento cerâmico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 42, 1998, Poços de Caldas,MG. Anais. Poços de Caldas, Associação Brasileira de Cerâmica, 1998b. p:97-100

SOUZA SANTOS,P. Ciência tecnologia de argilas 3.ed. São Paulo. Volume I. Edgar Blucher Ltda,v.1, 1992.

SOBRINHO,D.S. Uso do rejeito de rochas graníticas e calcárias como agregado leve na produção de argamassa. IN: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA DA UFPB,VI., 1998, João Pessoa,PB. Resumo. João Pessoa. Pró Reitoria de pós Graduação e Pesquisa, UFPB,1998. p.117

SOBRINHO,D.S.G.; NEVES,G.A.; PATRICIO,S.M.R. Utilização dos resíduos de rochas graníticas na produção de blocos estruturais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43.,1999, Florianópolis-SC. Anais. Florianópolis, Associação Brasileira de Cerâmica, 1999. p. 1901-1910

SOUTO,P.M.; NEVES,G.A.; FERREIRA,H.C. Utilização de rejeito da serragem de granitos nas composições de cerâmica branca. IN: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA DA UFPB,VIII., 2000, João Pessoa,PB. Resumo. João Pessoa. Pró Reitoria de pós Graduação e Pesquisa, UFPB, 2000. p.161

SOARES.J.M.D.;REICHERT.M.;TOMAZETTI,R.R.;TAVARES,I.S. Adição de residuo de couro na massa para produção de cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45., 2001, Florianópolis, SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis,2001. p.601-610

SUKASTSCHEW,W. Novas matérias-primas na indústria de louça sanitária vitrificada. Cerâmica,v.7,n.26,p.49-53,1969.

SUMÁRIO MINERAL BRASILEIRO, (SBM,2001), Departamento Nacional de Pesquisa Mineral,2001.

SIEFKE,C. Production of ceramic building materials in Russia from coal tailings. Tile & Brick Int.,v.13,n.21, p.116-131,1997.

TAY,J.M. Bricks manufactured from sludge, J. Ervin. Eng, n.113, p.212-278,1987.

TENAGLI,A.;CENNI, P. L'argilla da laterizi come ricettore di fanghi industriae. Industria Italiana de Laterizi, v.3, p.141-146,1984.

TEIXEIRA,P.B. Reservas chegam a dois milhões de metros cúbicos". A Gazeta , Vitoria -ES, 29 de agosto, p. 2,1995.

TEIXEIRA,C.; PAULA SANTOS,J.; TEIXEIRA LOPES,J.; PILAR,L.; PEREIRA,V.C. Noticia Explicativa da Folha 14-D, (Aguilar da Beira), da carta geológica de Portugal, à escala 1/50000. Serviço Geológicos de Portugal,1972.

VERDUCH,A.G.E.; BALMASEADA,J.R. El Granito como materia-prima feldspática para las industrias de ceramica y vidro. Técnica Ceramica, n.238, p.696-709,1996.

VIEIRA,C.M.F.; HOLANDA,J.N.F.; PINATTI,D.G. Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de Campos dos Goytacazes-RJ. Cerâmica, v.46,n.297,p.15-18,2000.

VIEIRA,M.T.F.Recuperação de desperdícios de rochas por tecnologia de pós. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 42., 1998, Poços de Caldas,MG. Anais. Poços de Caldas, Associação Brasileira de Cerâmica, 1998. p:149-152

VICENZI,J.; BERGMANN, C.P. Aproveitamento de um resíduo industrial em uma massa cerâmica para piso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999, Florianópolis-SC. Anais. Florianópolis, Associação Brasileira de Cerâmica, 1999.

XAVIER,G.C.;JUNIOR,F.S.;ALEXANDRE,J.;JUNIOR,M.P.S. Estudo da adição de resíduos da serragem do mámore a massa de conformação de cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45.,2001, Florianópolis, SC. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis,2001. p.401-412.

ZANOTTO,E.D.; MARQUES.E.L.; VERGANI,J.A.C. REFORMIX 2.0, Concurso Nacional de Software Tecnológico, Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia de Materiais ,1994.

ZUCCINI,R.R.;ORTIZ,N.;SAKA,S.;ZANDONARDI,A.R. Melhoria de propriedades de cerâmica vermelha utilizando resíduos industriais argilosos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 37., 1992, Curitiba-PR. Anais. Curitiba, Associação Brasileira de Cerâmica, 1992. p. 24-43

WANG,K.S.; CHIANG,K.Y.; PERNG,J.K.; SUN,C.J. The characteristics study on sintering of municipal waste incinerator ashes. Journal of Hazardous Materials, v.59, n. 2/3, p.201-210,1998.

WASTE, AGE.,A crisis is building, V.23, n.1, p.26-36,1992.

WENDER,A.A.; BALDO,B.B. O potencial da utilização de um resíduo argiloso na fabricação de revestimento cerâmico – Parte II. Cerâmica Industrial, v.3,n.1/2, p.34-36,1998.

YALÇIN, N.; SERVİNÇ, V.; Utilization of bauxite waste in ceramic glazes. Ceramics International, v.26, p.485-493, 2000.