

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE SERRAGEM DE ROCHA ORNAMENTAL
COM TECNOLOGIA DE FIO DIAMANTADO EM CERÂMICA VERMELHA

MARIANE COSTALONGA DE AGUIAR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
MARÇO – 2012

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE SERRAGEM DE ROCHA ORNAMENTAL COM TECNOLOGIA DE FIO DIAMANTADO EM CERÂMICA VERMELHA

MARIANE COSTALONGA DE AGUIAR

Dissertação apresentado ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Materiais”.

Área de concentração: Materiais e Meio Ambiente
Orientador: Prof. Dr. Carlos Maurício Fontes Vieira

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO– 2012

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE SERRAGEM DE ROCHA ORNAMENTAL COM TECNOLOGIA DE FIO DIAMANTADO EM CERÂMICA VERMELHA

MARIANE COSTALONGA DE AGUIAR

“Dissertação de Mestrado apresentado ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Materiais”.

Área de concentração: Materiais e Meio Ambiente

Aprovada em 28 de março de 2012

Comissão Examinadora:

Prof. Nancy Quaranta (D.Sc., Eng. e Ciência dos Materiais) - UTN

Prof. Jonas Alexandre (D.Sc., Eng. Civil) - UENF

Prof. Sérgio Neves Monteiro (Ph. D., Eng. e Ciência dos Materias) - UENF

Prof. Carlos Maurício Fontes Vieira (D.Sc., Eng. e Ciências dos Materiais) - UENF
Orientador

Dedico este trabalho aos meus pais
Ana Cecília e Miguel pela confiança e as
minhas irmãs Solange e Yasmim pelo apoio

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS por estar sempre presente em minha vida.

Aos meus pais, pelo amor, pela confiança, por todas as palavras de apoio sempre.

As minhas irmãs Solange e Yasmim por todo amor e apoio.

Ao Prof. Dr. Carlos Mauricio Fontes Vieira pela orientação, paciência, pelos ensinamentos e pela oportunidade de fazer o mestrado.

A todos os professores do LAMAV pelos ensinamentos.

Aos técnicos do Laboratório (LAMAV) Rômulo e Renan, pela grande ajuda na realização da parte experimental.

Aos meus amigos da Universidade: Aline Moraes, Thais Caldas, Kátia Faria, Lara Pessin, Felipe Périssé, Laís Motta, Michelle Babisk e Júlia Gazzoni.

As minhas companheiras de República Daniela Oss e Flaviane Guedes pela companhia, risos, desabafos e pela amizade.

A pesquisadora Mônica Borlini pela amizade e por sempre estar disposta a ajudar.

A FAPERJ e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Ao CETEM pela realização dos ensaios de raios-X, análise térmica e MEV.

A Pemagran Pedras e Mármore LTDA pelo fornecimento do resíduo utilizado neste trabalho.

Àqueles que não foram citados, mas, que, de alguma forma, contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal e para realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

Feliz do homem que encontrou sabedoria,
Daquele que adquiriu a inteligência,
Porque mais vale este lucro, que o da prata,
E o fruto que se obtém é melhor que o fino ouro.
Ela é mais preciosa que as pérolas,
Jóia alguma a pode igualar.

É uma árvore de vida para aqueles que lançarem mãos dela.
Quem a ela se apegar, é um homem feliz.
Foi pela sabedoria que o Senhor criou a terra,
Foi com inteligência que ele formou os céus.

Provérbios 3: 13-15, 18-19.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	
ÍNDICE DE TABELAS.....	VII
RESUMO.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo geral.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. JUSTIFICATIVA.....	4
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
4.1. Rochas Ornamentais.....	5
4.1.1. Perfil do Segmento.....	7
4.2.1. Tecnologia de beneficiamento de rochas ornamentais.....	9
4.2.1.1. Teares com movimento pendular.....	10
4.2.1.2. Ecotear.....	11
4.2.1.3. Talha-Blocos.....	12
4.2.1.4. Teares com movimento semi-retilíneos.....	14
4.2.1.5. Teares com fio diamantado.....	14
4.2.2. Granalha.....	15
4.2.3. Lama Abrasiva.....	18
4.2.4. Resíduos.....	19
4.2.4.1. Classificação.....	19
4.2.4.2. Classificação do resíduo de rocha ornamental.....	23
4.2.4.3. Resíduos do segmento de rochas ornamentais.....	23
4.2.4.4. Destinação final do resíduo do segmento de rochas ornamentais.....	28
4.2.4.4.1. Utilização de resíduos em cerâmica vermelha.....	28
4.2.4.4.2. Utilização de resíduos em cimento.....	31
4.2.4.4.3. Utilização de resíduos em argamassa.....	32
4.2.4.4.4. Utilização de resíduos em vidro.....	33

4.2.4.4.5. Utilização de resíduos em concreto.....	34
4.2.4.4.6. Utilização de resíduos em porcelanas.....	36
4.2.4.4.7 Utilização de resíduos em revestimento.....	37
4.2.4.4.8. Utilização de resíduos em piso.....	37
4.2.4.5. Reaproveitamento de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais em cerâmica vermelha.....	38
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
5.1. Materiais.....	55
5.2. Métodos.....	56
5.2.1. Beneficiamento das matérias primas.....	56
5.2.2. Caracterização das matérias primas.....	56
5.2.2.1. Caracterização mineralógica.....	56
5.2.2.1.1. Difração de Raios-X.....	56
5.2.2.1.2. Análise Térmica (ATD/TG/).....	57
5.2.2.2. Caracterização Química.....	57
5.2.2.3. Caracterização Física.....	57
5.2.2.3.1. Dilatometria.....	57
5.2.2.3.2. Distribuição de tamanho de partículas.....	57
5.2.2.3.3. Plasticidade.....	58
5.2.2.4. Caracterização Morfológica.....	58
5.2.3. Preparação das formulações.....	58
5.2.4. Processamento dos corpos de prova.....	59
5.2.5. Ensaio físicos e mecânicos dos corpos de prova.....	59
5.2.5.1. Massa específica aparente.....	59
5.2.5.2. Retração linear de queima.....	60
5.2.5.3. Absorção de água.....	60
5.2.5.4. Tensão de ruptura a flexão.....	61
5.2.6. Análise Microestrutural.....	61
5.2.6.1. Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	61

5.2.6.2. Microscopia ótica.....	61
5.2.6.3. Difração de raios-X (DRX).....	61
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
6.1. Características das Matérias-Primas.....	63
6.1.1. Composição Mineralógica.....	63
6.1.2.1. Composição Química.....	66
6.1.3. Distribuição de tamanho de partícula.....	67
6.1.4. Comportamento de queima.....	70
6.1.5. Dilatometria.....	72
6.2. Morfologia das composições.....	75
6.2.1. Caracterização do pó do granito.....	75
6.2.2 MEV do pó das matérias-primas.....	76
6.3. Propriedades das composições.....	78
6.3.1. Plasticidade.....	78
6.4. Propriedades Físicas e Mecânicas.....	79
6.5. Caracterização Microestrutural.....	86
6.5.1. Caracterização das peças queimadas.....	86
6.5.2. MEV das composições formuladas.....	91
6.6. Análise das fases por difração de raios-X.....	97
7. CONCLUSÕES.....	100
7.1. Considerações finais.....	100
7.2. Conclusões.....	101
7.3. Sugestões.....	103
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Granito Iberê Crema Bordeaux.....	7
Figura 4.2. Mapa de distribuição de rochas ornamentais.....	9
Figura 4.3. Tear moderno de grande porte. Empresa Marbrasa (Cachoeiro de Itapemirim-ES).....	11
Figura 4.4. Tear com corte a seco (Ecotear).....	12
Figura 4.5. Talha-blocos para produção de ladrilhos (Granitos Brasileiros S.A).....	13
Figura 4.6. Tear Multifios Diamantados para corte de granito. Empresa Mormocil (Serra-ES).....	15
Figura 4.7. Granalha.....	16
Figura 4.8. Lama Abrasiva sendo lançada sobre o bloco de granito.....	19
Figura 4.9. Esquema de geração de resíduo nas indústrias de rochas ornamentais.	24
Figura 4.10. Processo de extração de blocos de pedra.....	25
Figura 4.11. Processos de beneficiamento. desdobramento, polimento e corte e acabamento.....	26
Figura 4.12. Lagoas de sedimentação de resíduo sólido no solo em empresas de pequeno porte.....	27
Figura 4.13. Curso de água contaminado com o lançamento de resíduos de rocha ornamental.....	28
Figura 4.14. (a) Transporte de resíduos, (b) Aterro de resíduo.....	29
Figura 4.15. Propriedades tecnológicas da incorporação do resíduo de granito em massa argilosa.....	41
Figura 4.16. Distribuição granulométrica no diagrama de winkler das argilas e massas cerâmicas (% em massa).....	42
Figura 4.17. Difratoograma de raios-X das matérias-primas.....	43
Figura 4.18. Propriedades tecnológicas da incorporação do resíduo de granito em massa argilosa	45
Figura 4.19. Difratoograma de raios-X das matérias-primas.....	46
Figura 4.20. Distribuição de tamanhos de partículas o resíduo.....	47
Figura 4.21. Retração linear dos corpos de prova com resíduo de granito.....	48

Figura 4.22. Absorção de água da cerâmica com resíduo.....	49
Figura 4.23. Micrografias do resíduo de granito.....	49
Figura 4.24. Prognóstico de extrusão através dos limites de atterberg.....	51
Figura 4.25. Retração linear dos corpos de prova em função da porcentagem de resíduo incorporado.....	52
Figura 4.26. Absorção de água dos corpos de prova em função da porcentagem de resíduo incorporado.....	52
Figura 4.27. Resistência à flexão dos corpos de prova em função da porcentagem de resíduo incorporado.....	53
Figura 5.1. Fluxograma esquemático do procedimento experimental.....	55
Figura 5.2. Tear de multifios diamantados. Pemagran Pedras e Mármore LTDA.....	56
Figura 6.1. Difratoograma de raios-X da argila.....	64
Figura 6.2. Difratoograma de raios-X do resíduo de granito.....	65
Figura 6.3. Difratoograma de raios-X da areia.....	65
Figura 6.4. Distribuição de tamanhos de partículas das matérias-primas.....	68
Figura 6.5. Diagrama de Winkler para classificação tecnológica das massas cerâmicas.....	69
Figura 6.6. Curvas de ATD/TG da argila.....	71
Figura 6.7. Curvas de ATD/TG do resíduo de granito.....	71
Figura 6.8. Curvas de ATD/TG da areia.....	72
Figura 6.9. Dilatometria da argila.....	73
Figura 6.10. Dilatometria do resíduo de granito.....	74
Figura 6.11. Dilatometria da areia.....	74
Figura 6.12. Micrografia ótica do pó do resíduo de granito.....	75
Figura 6.13. Micrografias de MEV do pó da argila.....	76
Figura 6.14. Micrografias de MEV do pó do resíduo de granito com mapeamento de EDS.....	77
Figura 6.15. Micrografias de MEV da areia.....	77
Figura 6.16. Prognóstico de extrusão através dos limites de Atterberg das massas cerâmicas.....	79
Figura 6.17. Densidade aparente a seco das composições.....	80

Figura 6.18. Densidade aparente de queima das composições.....	81
Figura 6.19. Retração linear de queima das massas cerâmicas.....	83
Figura 6.20. Absorção de água das massas cerâmicas.....	84
Figura 6.21. Tensão de ruptura a flexão das composições.....	86
Figura 6.22. Micrografias óticas das massas cerâmicas na temperatura de 750°C.....	88
Figura 6.23. Micrografias óticas das massas cerâmicas na temperatura de 950°C.....	90
Figura 6.24. Micrografias óticas das massas cerâmicas na temperatura de 1050°C.....	91
Figura 6.25. Micrografias de MEV da composição na temperatura de 750°C (a) MO%, (b) M40%RG com mapeamento de EDS, (c) M40% A.....	93
Figura 6.26. Micrografias de MEV da composição na temperatura de 950°C (a) MO%, (b) M40%RG com mapeamento de EDS, (c) M40% A.....	95
Figura 6.27. Micrografias de MEV da composição na temperatura de 1050°C (a) MO%, (b) M40%RG com mapeamento de EDS, (c) M40% A.....	97
Figura 6.28. Micrografias de raios-X das formulações de 0% nas temperaturas de 750°C e 1050°C.....	98
Figura 6.29. Micrografias de raios-X das formulações de 40%RG temperaturas de 750°C e 1050°C.....	99
Figura 6.30. Micrografias de raios-X das formulações de 40%A temperaturas de 750°C e 1050°C.....	99

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1. Composição química do resíduo de granito.....	17
Tabela 4.3. Composição química de resíduos de granito	38
Tabela 4.4. Composição química (%) em peso do resíduo de granito).....	42
Tabela 4.5. Composição química do resíduo de granito.....	49
Tabela 5.1. Formulação das massas.....	59
Tabela 6.1. Composição química da argila, resíduo de granito e areia	67
Tabela 6.2. Limites de Atterberg das massas cerâmicas.....	78

RESUMO

O setor de rochas ornamentais está concentrado no Sudeste do Brasil e possui relevância social e econômica pela sua considerável produção, inclusive para exportação, e pelos empregos diretamente relacionados com essas indústrias. Em particular, o Estado do Espírito Santo é responsável por mais da metade da exportação brasileira de rochas ornamentais. Por outro lado, este estado sofre com a geração de resíduos provenientes das operações de processamento de rochas ornamentais, tais como o corte e polimento. Estas operações tradicionalmente empregam insumos de aço, que são responsáveis pela contaminação de quantidades relativamente grandes de resíduos. Contudo, este estudo tem como objetivo a incorporação do resíduo de granito conhecido comercialmente como Iberê Crema Bordeaux em cerâmica vermelha. O resíduo é proveniente de Cachoeiro de Itapemirim – ES, o maior pólo industrial de rochas ornamentais do país, e foi obtido pelo processo de serragem de rochas ornamentais, utilizando a tecnologia de tear multifios. A incorporação do resíduo na cerâmica tem o intuito de diminuir o impacto ambiental e formular uma nova composição de massa cerâmica para ser utilizada nas indústrias de Campos dos Goytacazes – RJ. As matérias primas foram inicialmente submetidas a ensaios de caracterização mineralógica, química, física e morfológica. A caracterização química e mineralógica foi realizada por meio da utilização das técnicas de fluorescência de raios-X (FRX), difração de raios X (DRX) e análise térmica (ATD/TG/DTG). A caracterização morfológica foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A microestrutura das cerâmicas foi avaliada por microscopia ótica (MO). Os corpos de prova de cerâmica com resíduo foram submetidos a ensaios tecnológicos, tais como: massa específica aparente, retração linear, absorção d'água e tensão de ruptura á flexão. Os resultados indicaram que adições de resíduo de granito na massa cerâmica do município de Campos dos Goytacazes contribuíram para a redução de porosidade na temperatura de 1050°C, havendo assim, uma melhoria nas suas propriedades tecnológicas avaliadas.

Palavras-chave: Cerâmica vermelha, resíduo de granito, fio diamantado.

ABSTRACT

The ornamental stones sector is concentrated in southeast of Brazil and has great social and economic relevance, due to its production, including for export, and the jobs directly related to these industries. In particular, the Espírito Santo state is responsible for more than half of Brazilian exports of ornamental rocks. Moreover, this state suffers with the generation of waste from processing operations of ornamental stones, such as sawing and polishing. Such operations typically employ steel inputs, which are responsible for the contamination of relatively large amounts of waste. However, this study aims the incorporation of granite waste commercially known as Iberê Crema Bordeaux into red ceramic. The waste comes from Cachoeiro de Itapemirim – ES, and, which was obtained through ornamental stones sawing process, using multi-wire technology. The incorporation of the waste into ceramic aimed the reducing of the environmental impact and developing of a new composition of ceramic body to be used in the industries of Campos dos Goytacazes - RJ. The raw materials were submitted to mineralogical, chemical, physical and morphologic characterization. The chemical and mineralogical characterization was carried out through X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD) and thermal analysis (DTA/TG/DTG). The morphological characterization was carried out through scanning electron microscopy (SEM). The experimental procedure of the ceramic samples with waste incorporated includes tests such as: bulk density, firing shrinkage, water absorption and flexural strength. The results indicated that the addition of granite waste in the ceramic body of the area of Campos dos Goytacazes contributed to the reduction of porosity in the temperature of 1050 °C, therefore, improvement in the technological properties.

Keywords: red ceramic, granite waste, diamond wires

INTRODUÇÃO

As massas das indústrias de cerâmica vermelha do município de Campos dos Goytacazes são, em sua grande maioria, elaboradas de forma empírica com argilas locais que são de predominância caulínica e de elevada plasticidade. Em decorrência de uma massa excessivamente plástica, é comum a ocorrência de defeitos dimensionais nas peças e trincas de secagem e queima. Além disso, a predominância caulínica e presença de hidróxido de alumínio (gibbsite) nas argilas locais, conferem às mesmas um comportamento refratário durante a queima (Vieira *et al.*, 2000, Monteiro *et al.*, 2002). No caso das telhas cerâmicas, estas apresentam uma porosidade excessiva que acarreta em elevados valores de absorção de água e baixa resistência mecânica. Com isso, há necessidade de reformulação das massas cerâmicas com a utilização de matérias-primas não plásticas e fundentes. Uma alternativa tecnológica para diminuição da porosidade em produtos de cerâmica vermelha é a utilização de resíduo da serragem de granito (Souto *et al.*, 2000, Souto *et al.*, 2001). O granito é uma rocha que apresenta grande quantidade de quartzo, feldspatos e mica. Nas etapas que antecedem a queima, estes minerais atuam como desplastificante, diminuindo a quantidade de água necessária para conformação e facilitando a secagem. Na queima o quartzo atua como inerte, podendo ainda apresentar uma parte dissolvida na fase líquida formada. Já os feldspatos e mica favorecem a formação de fase líquida e contribuem para a diminuição da porosidade das peças.

No município de Cachoeiro de Itapemirim, localizado no sul do Estado do Espírito Santo e cerca de 150 km de Campos dos Goytacazes, há uma intensa atividade industrial de rochas ornamentais, sobretudo granito. Após a etapa de lavra, onde há a extração dos blocos, estes são submetidos a um beneficiamento primário para a obtenção de peças em forma de placas brutas, tiras ou espessores (semi-acabados). Posteriormente, há um beneficiamento secundário onde ocorre um polimento e acabamento final das peças serradas. No beneficiamento primário, estima-se uma perda de 20 a 25% do volume dos blocos, na forma de pó. Este pó é misturado com água e eventualmente outros acessórios como granalha metálica e cal, constituindo-se num resíduo na forma de lama (A Gazeta, 1998). Estima-se que em Cachoeiro de Itapemirim haja uma produção mensal de 1000 toneladas de lama (Souto *et al.*, 2001).

A disposição final desta lama tem acarretado sérios problemas ambientais já que muitas vezes não há tratamento adequado, ocorrendo contaminação do solo e subsolo e assoreamento de córregos e rios.

A presença de granalha na lama causa um inconveniente para o aproveitamento do resíduo em cerâmica vermelha devido à formação de um agregado ferroso que pode acarretar sérios danos aos equipamentos da indústria cerâmica. Entretanto, o método de se utilizar resíduos do beneficiamento de granito onde não há presença de granalha, como a tecnologia do tear diamantado, é um método inovador, podendo ser bastante aceito para as indústrias cerâmicas e para fabricação de produtos de alto valor agregado.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo investigar a utilização do resíduo do beneficiamento de granito através da tecnologia do tear diamantado, onde neste processo não há utilização da granalha, como componente de massa de cerâmica vermelha.

2.2. Objetivos específicos

- Formular massa cerâmica com o resíduo de granito para determinar a quantidade adequada de resíduo a ser utilizada.
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas da cerâmica queimada.
- Avaliar as características do resíduo.
- Correlacionar a microestrutura das cerâmicas com as propriedades obtidas.

3. JUSTIFICATIVAS

- A destinação final ambientalmente correta para o resíduo, evitando assim a contaminação do solo e o desperdício de grandes áreas de aterro no município de Cachoeiro de Itapemirim.
- A possibilidade de melhoria do processamento e da qualidade das cerâmicas fabricadas no município de Campos dos Goytacazes com a utilização do resíduo.
- A possibilidade de diversificação da produção com a fabricação de produtos de elevado valor agregado já que será possível desenvolver uma massa menos refratária.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Rochas Ornamentais

As rochas ornamentais são classificadas comercialmente em dois grupos: mármore e o granito. Os mármorees são rochas metamórficas essencialmente de carbonatos gerados em ambiente de alta pressão e temperatura num longo período de tempo.

Eles afloram como resultado de processos erosivos na crosta terrestre. Comercialmente, compreendem um amplo conjunto de rochas constituídas por carbonato, desde litotipos sedimentares, como os calcários e dolomitos (com calcita e dolomita), até os litotipos metamórficos destruídos de (ou com pouco) carbonato, como os serpentinitos, por exemplo. O padrão cromático dos mármorees depende das impurezas dos seus carbonatos constituintes. Óxidos de ferro e manganês, por exemplo, podem misturar-se aos carbonatos nos mármorees e outras rochas carbonáticas. Pode-se estabelecer um padrão de cores aos mármorees, indo do clássico, com cores róseos e brancos, aos mais comuns, de cores bege e marron.

O granito é uma rocha plutônica ou intrusiva granular, onde basicamente é formada por quartzo e feldspato, e conseqüentemente também, por biotita e moscovita (NBR 6502/1995).

De acordo com Gonçalves, 2000; o granito em termos geológicos é uma rocha ígnea, uniforme, de textura granular, constituída predominantemente de minerais de quartzo, feldspato e mica. O quartzo é o mineral mais abundante existente na terra. Apresenta estrutura cristalina trigonal composta por tetraedros de sílica (dióxido de silício, SiO_2), pertencendo ao grupo dos tectossilicatos. Pode apresentar cores de acordo com a sua variedade é muito resistente ao intemperismo, ele sobrevive à erosão em grãos que formam a maior parte das areias da praia e do deserto.

A mica inclui diversos minerais do grupo dos filossilicatos que tem divisão basal altamente perfeita, todos são cristais monoclinicos que são similares em composição química. Ela aparece no granito sob aspecto de pequenas lâminas

brilhantes. A mica apresenta alta resistência dielétrica e excelente estabilidade química.

O feldspato pertence ao grupo de silicatos de alumínio com potássio, sódio, cálcio e mais raramente bário, sendo que o primeiro tem grande aplicação na indústria cerâmica e do vidro. Na cerâmica, sua função é a de fundente, pois seu ponto de fusão é menor do que a maioria dos outros oponentes, servindo de cimento para as partículas das várias substâncias cristalinas, além de outros aspectos, com as reações físico-químicas (Lucena, 2009).

Pode-se dizer que as rochas ornamentais são consideradas rochas produzidas pela extração em forma de blocos, onde em grande parte são serradas em placas, visando aplicações na construção civil, decorações e urbanismo (Almeida & Chaves, 2002).

O Brasil, por apresentar um potencial geológico de mármore e granito de diferentes padrões estéticos, homogêneos e movimentados, ocupa atualmente o 5º lugar na produção mundial de blocos ornamentais. Por isso, sua participação no mercado em rochas ornamentais se faz, na maioria das vezes, um grande produtor de matéria-prima.

Além de possuir uma empregabilidade muito grande nas indústrias de construção civil como revestimentos internos e externos de pisos, paredes, colunas e entre outros, as rochas ornamentais, como por exemplo, o mármore e o granito, além de apresentarem uma estética bastante utilizada nos dias atuais, apresentam características de vantagens de uso bastante agradáveis, como resistência, durabilidade e facilidade de limpeza.

De acordo com Vargas *et al.*, 2001 certos granitos ornamentais do Brasil são famosos até no exterior. Além de ter beleza visual, são as rochas mais resistentes não perdendo o brilho de polimento durante longos anos. Desta forma, desde os tempos antigos, os granitos coloridos são muito procurados no mercado. As tumbas dos faraós das pirâmides do Egito foram construídas com granitos e o corpo principal das pirâmides, com calcários. De acordo com a coloração, os granitos são classificados em vermelho, marrom, amarelo, azul, verde, preto e cinza. A sua coloração é devido principalmente à cor dos minerais constituintes e da alteração intempérica.

A Figura 4.1 apresenta uma amostra de granito denominado Iberê Crema Bordeaux, no qual, através do resíduo deste granito, será incorporado na cerâmica vermelha estudada no presente trabalho.



Figura 4.1. Granito Iberê Crema Bordeaux

Fonte: Pazeto, 2008.

4.1.1. Perfil do Segmento

A produção brasileira de rochas ornamentais atingiu em 2010 um patamar de 8,9 milhões de toneladas. (Chiodi Filho, 2011)

O Brasil é o centro produtor de rochas ornamentais mais rico em granitos (Chiodi Filho, 2005). De acordo com a Abirochas, 2008; no ano de 2006 o país colocou-se como o 5º maior produtor mundial de rochas em volume físico, 8º maior exportador de rochas beneficiadas (chapas), 4º maior produtor mundial de rochas.

O Espírito Santo possui um papel importante, no que diz a respeito, da produção de rochas ornamentais no País, além de estar como um dos principais maiores produtores de rochas ornamentais no mundo.

Só no Estado do Espírito Santo são gerados 152.199 m³ de resíduos do processo de beneficiamento de rochas ornamentais no ano (Sindirochas, 2007).

Na cidade de Cachoeiro de Itapemirim-ES, concentra-se o maior pólo industrial do Estado. O Espírito Santo corresponde 43% da produção nacional, onde 80% são produzidos em Cachoeiro de Itapemirim. Na atualidade, são mais de 500 indústrias de extração, desdobramentos e beneficiamento de rochas, com 900 teares geradores de resíduos, aproximadamente.

A quantidade de resíduos gerados na cidade é muito grande, podendo dizer que Cachoeiro passa por problemas ambientais, no que diz respeito, a geração de resíduos industriais.

Nas indústrias de rochas ornamentais, são gerados diretamente e indiretamente mais de 20.000 empregos, equivalentes a 13% de todos os empregos gerados pela indústria capixaba (Sindirochas, 2004).

O valor das exportações de chapas serradas estimativamente somou 16,8 milhões m² em 2007. Considerando-se que houve demanda de 42,2 milhões m² para o mercado interno, foi calculado que o processamento brasileiro de chapas em teares e talha-blocos atingiu 60 milhões de m² no ano de 2007 (Abirochas, 2008).

Em números redondos, as exportações brasileiras de rochas ornamentais somaram US\$ 1 bilhão e 2,2 milhões toneladas em 2011, com variação de respectivamente +4% e -2% frente a 2010. Essas exportações continuam muito polarizadas em chapas polidas para os EUA e blocos para a China. As importações de rochas ultrapassaram 100 mil toneladas em 2011. (Abirochas, 2011)

Em 2012, exportações brasileiras de rochas ornamentais superaram expectativas no mês de janeiro, somando US\$ 60,79 milhões e marcando variação positiva de 24,63% frente ao mesmo período de 2011. Em volume físico essas exportações somaram 142.769,49 t, com incremento de 15,95%. (Abirochas, 2012).

Devido ao crescimento do setor no país, as exportações brasileiras de rochas ornamentais fecharam o primeiro semestre de 2007 com um faturamento de US\$ 521.104.300, tendo ultrapassado 1.2 milhão de toneladas de rochas. O Espírito Santo contribuiu 66,12% das exportações brasileiras de rochas ornamentais e apresentou um faturamento de US\$ 344.444.968 (Rochas de Qualidade, 2007a).

Com relação aos produtos manufaturados do setor de rochas ornamentais, o Estado do Espírito Santo, de janeiro a maio de 2007, manteve sua liderança no volume das exportações brasileiras e foi o maior exportador de rochas processadas no país, superando o índice de 84% de participação, em relação ao mesmo período de 2006 (Rochas de qualidade, 2007b).

A Figura 4.2, apresenta um mapa de distribuição de diferentes rochas encontradas no Brasil e cada porcentagem de produção nacional de rochas. Onde podemos observar, que em quase todo país, encontra-se a presença de granito.

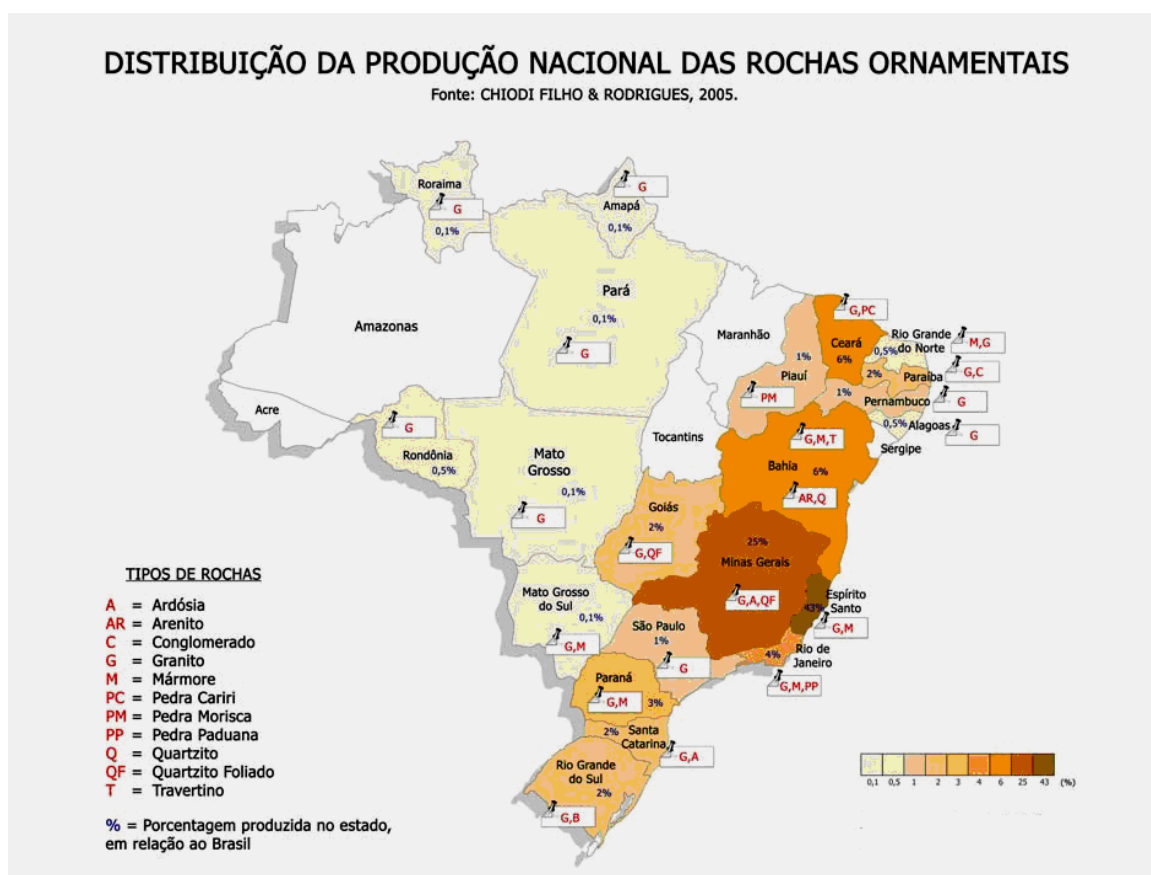


Figura 4.2 Mapa de distribuição de rochas ornamentais no Brasil.

Fonte: Reis, 2008.

4.2.1. Tecnologia de Beneficiamento de Rochas Ornamentais

Normalmente, os blocos extraídos de pedreira, possuem volumes variáveis entre 5m^3 e 8m^3 , podendo também atingir 12m^3 . No entanto, materiais especiais com alto valor comercial permitem o aproveitamento de blocos a partir de 1m^3 . Após o esquadrejamento feito na própria pedreira, ou após ter sido refilado com máquina monolâmina ou com fio diamantado, o bloco é encaminhado para serraria para ser beneficiado (Ribeiro, 2005).

O processo de serragem nos teares é executada através de um quadro com fixação de lâminas de aço paralelas, que desenvolvem movimentos retilíneos, pendulares ou curvo-retilíneo-curvo sobre a carga. Nos talha-blocos a serragem é efetuada por discos diamantados, com diâmetros variados e capacidade convencional para cortes de até 1,20 m (Abirochas, 2008).

Além dos métodos de serragem de blocos de rochas ornamentais serem realizados tradicionalmente por teares, esse processo é um método de elevada produtividade, gerando uma grande quantidade de produtos finais a partir das chapas.

O processo de serragem nos teares tem a poupa de água, cal e granalha como auxílio, despejada continuamente sobre a carga, para otimização do corte e resfriamento das lâminas, embora já exista teares em que no processo de serragem não há utilização da granalha, como o tear de fio diamantado, que esta sendo estudado no presente trabalho.

A seguir, será mostrado os tipos de teares usados no processo de serragem de granito.

4.2.1.1. Teares com movimento pendular

A Figura 4.3 apresenta o tear de movimento pendular alternativo, que são os mais empregados no processo de beneficiamento de blocos de granitos e rochas similares.



Figura 4.3. Tear moderno de grande porte. Empresa Marbrasa (Cachoeiro de Itapemirim-ES)

Fonte: Ribeiro, 2005

Para Thompson, 1990; Citran, 1994; Stellin Junior, 1998; Pedrosa, 2003; os elementos mecânicos e estruturais foram redimensionados para suportarem os maiores esforços envolvidos no beneficiamento do granito, fazendo com que o peso desses equipamentos que atingia 20 a 30 toneladas, no corte do mármore, superam 80 toneladas em alguns modelos.

4.2.1.2. Ecotear

O ecotear apresentado na Figura 4.4 trata-se de um tear de lâminas que possui o sistema de corte de blocos a seco e na posição vertical, utilizando somente a granalha e a lâmina, dispensando assim, o uso da mistura abrasiva (lama).

Trata-se de uma tecnologia a nível mundial. Com isto, este projeto recebeu em 2003 um aporte financeiro do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e encontra-se em fase final de testes experimentais.

De acordo com Pedras do Brasil, 2003 o ecotear apresenta algumas vantagens observadas no corte deste tear, como: redução de gasto com água em quase 100%, com energia elétrica em 40% e com insumos em média de 15%, diminuição do impacto ambiental, maior velocidade de corte e melhor qualidade do produto final (chapas)



Figura 4.4. Tear com corte a seco (Ecotear)

Fonte: Aguiar, 2010

4.2.1.3. Talha-Blocos

Os talha-blocos mais modernos apresentam produtividade média em termos de m^2/m^3 , 10% superior aos teares, além de não permitir a serragem e chapas grandes (Abirochas, 2004).

Os equipamentos do talha-blocos admitem movimentação de uso em ângulos variados (vertical e horizontal), permitindo assim, diferentes formas de desdobramento dos materiais (Figura 4.5).

O emprego dos discos diamantados durante o processo de corte se dá pelo atrito entre os segmentos sinterizados com grãos de diamantes, fixados na borda de ataque do disco e o bloco da rocha. A combinação desses dois movimentos se resulta na rotação do discos e o de translação do mandril (onde os discos são fixados) em sucessivas passagens com pequenos movimentos de descida do mandril.

São os equipamentos de usos mais recentes e menos difundidos do que os teares. De acordo com Suarez Del Rio *et al.*, 1998; Aim, 2002, esses equipamentos são adequados para fins mais específicos (ladrilhos padronizados) e tiveram seu uso mais ampliado com o desenvolvimento de aplicação de diamante em ferramentas de corte e com a redução dos custos dos segmentos diamantados.



Figura 4.5. Talha-blocos para produção de ladrilhos (Granitos Brasileiros S.A)

Fonte: Ribeiro, 2005

4.2.1.4. Teares com movimento semi-retilínios

Com o objetivo de aumentar a velocidade de corte de rochas graníticas, foi desenvolvido o tear com movimento semi-retilíneo, que é usado exclusivamente no corte de granito.

De acordo com Aim, 2002; a ligação entre o quadro porta-lâminas e os balancins é feita por meio de articulações excêntricas duplas, o que ao transformar parte do movimento pendular em horizontal, confere um contato maior e mais longo entre as lâminas e o bloco durante o avanço e o recuo do quadro porta-lâminas, mas em contrapartida a renovação da polpa é pouco eficaz.

4.2.1.5. Teares com fio diamantado

O tear com fio diamantado possui um importante diferencial em relação ao sistema de corte tradicional.

Geralmente, durante o processo de beneficiamento das rochas ornamentais há a utilização da gralha, lama e cal. Uma das características peculiar do tear diamantado é a sua versatilidade. Na maioria dos casos, o corte dispensa a necessidade de levigamento das chapas, proporcionando uma economia de até 30% no material polido (Inforochas, 2012). No processo de beneficiamento das rochas ornamentais, com a utilização da tecnologia do tear de fio diamantado há apenas a utilização do fio diamantado e água, tornando assim, a operação simples, prática e ecológica (Figura 4.6).

Essa tecnologia de serragem de blocos com fios diamantados é a mais recente das disponíveis atualmente e encontra-se em um estágio onde se podem esperar avanços importantes em termos de desempenho (Roc Máquina, 1998).

O resíduo utilizado neste trabalho será obtido com o uso desta tecnologia. Espera-se que este influencie na suas características como composição química e mineralógica, de forma, a confirmar o segmento de cerâmica vermelha devido à ausência de gralha.



Figura 4.6. Tear multifios diamantados para corte de granito. Empresa Marmocil.
(Serra-ES)

Fonte: Ribeiro, 2008.

4.2.2. Granalha

A granalha faz parte do corte de blocos de teares convencionais, atuando como desagregador de partículas, enquanto que as lâminas possui em função de condutores do abrasivo.

Esse tipo de abrasivo tem sido empregado na serragem de granito há mais de 35 anos. Para Citran 2000, o seu emprego iniciou-se com a granalha de fundição, hoje em dia, completamente substituída pela granalha de aço, a qual tem evoluído juntamente com a evolução dos teares, tendo adaptado às exigências da operação de corte

As granalhas produzidas a partir de aço possuem granulometria definida e formato esférico ou angular, podendo ou não serem tratadas termicamente. Na serragem de granitos, geralmente são utilizadas granalha angulosa que são depois

misturadas com menor quantidade de granalha esférica (Ribeiro, 2005). A Figura 4.7 apresenta uma amostra de granalha.



Figura 4.7. Granalha

Fonte: Reis, 2008.

A granalha de aço esférica possui sua micro-estrutura homogênea obtida por meio de um controlado processo de produção, ou seja, uma composição de aço mais dura e ao mesmo tempo mais resistente ao impacto, o que proporciona um aumento na durabilidade da granalha e uma transmissão eficiente da energia.

Não há uma norma quanto ao tipo de granalha que deve ser usado na serragem de diferentes tipos de granitos, fazendo com que o método utilizado seja empírico. Para as características mecânicas das granalhas, não existem especificações internacionais em relação à sua dureza e tenacidade.

Resíduos com expressivas quantidades de óxidos de ferro, devido à utilização da granalha (mini esferas de aço ou ferro fundido) no processo de beneficiamento, como auxiliar no corte das rochas ornamentais, são mais complicados de serem utilizados na indústria cerâmica devido à oxidação que as mesmas, podem ocasionar nos equipamentos.

Por isso, uma alternativa tecnológica é utilizar os resíduos de rochas ornamentais, sem a granalha, oriundo da tecnologia de tear com fio diamantado para

incorporação em cerâmica vermelha. Outra alternativa, pode ser a retirada do ferro, através da separação magnética, porém, na pratica esse meio pode ser inviável.

A Tabela 4.1 apresenta a composição química do resíduo de granito iberê crema bordeaux, o mesmo resíduo utilizado no presente trabalho, porém, com granalha.

Tabela 4.1. Composição química do resíduo de granito. Pazeto, 2008.

Matérias Primas	Composição (%)									
	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	SiO ₂	P ₂ O ₅	PF
Resíduo	12,3	4,3	6,9	4,1	0,0	0,1	3,7	66,7	0,0	1,8

De acordo com Pazeto, 2008, o resíduo de granito é basicamente constituído de SiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃ e óxidos alcalinos. A quantidade significativa de SiO₂ está associada com a fase cristalina do quartzo. Quando o resíduo é adicionado na argila, a grande quantidade de sílica livre contribui para modificar a plasticidade e facilitar a etapa de secagem da argila, porém, pode diminuir a resistência mecânica. O Al₂O₃ está provavelmente associado com a SiO₂ e óxidos alcalinos e alcalinos terrosos para formar as fases feldspáticas. A grande quantidade de óxidos alcalinos, K₂O+Na₂O em aproximadamente 8%, confirma o potencial fundente do resíduo, o que pode melhorar o processo de sinterização através da formação de fase líquida. O alto teor de Fe₂O₃ é proveniente da granalha, insumo empregado no beneficiamento das rochas e será responsável pela coloração avermelhada dos produtos após a queima.

Apesar do resíduo de granito poder contribuir para o melhoramento das propriedades tecnológicas da cerâmica ao ser incorporada, resíduo sem a utilização da granalha, podem trazer maiores benefícios para a fabricação de produtos cerâmicos, devido a menor quantidade de Fe₂O₃, fazendo com que seja mais viável para as indústrias cerâmicas, pois assim, a agregado ferroso que pode causar danos nos equipamentos das indústrias será minimizado.

A massa cerâmica analisada é típica da argila caulínica, contendo alto teor de alumina e pequenas quantidades de óxidos alcalinos. A alumina está em

sua maior parte combinada, formando a estrutura dos aluminossilicatos como a caulinita e minerais micáceos, além de obter uma elevada perda ao fogo.

4.2.3. Lama Abrasiva

As principais funções da lama abrasiva no tear são: servir de veículo ao abrasivo (mantendo em suspensão a granalha nela contida, conduzindo-a da bomba do poço até a região de corte), lubrificar e resfriar as lâminas e retirar o pó de pedra gerado nas canaletas entre as chapas

No processo de serragem, em teares tradicionais de lâminas de aço, gera-se uma lama proveniente de uma polpa abrasiva utilizada com os objetivos de lubrificar e esfriar as lâminas de serragem, evitar a oxidação das mesmas, limpar os canais entre as chapas e servir como abrasivo para facilitar a serragem. Essa polpa é basicamente composta de água, granalha (mini esferas de aço ou ferro fundido), cal (calcário ou carbureto de cálcio) e rocha moída (Gonçalves, 2000).

A lama abrasiva é composta de quatro elementos: água, cal, pó de pedra e granalha, onde as proporções variam dentro de amplos limites em função da experiência e peculiaridades dos serradores.

A Figura 4.8 apresenta a lama abrasiva sendo lançada sobre um bloco de granito durante o processo de beneficiamento.



Figura 4.8. Lama abrasiva sendo lançada sobre bloco de granito.

Fonte: Reis, 2008.

4.2.4. Resíduos

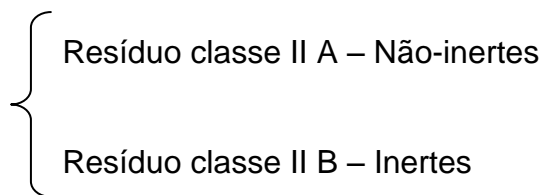
Os resíduos sólidos são resíduos nos estados sólido e semi-sólido que resultam de atividades e origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (NBR 10004/2004).

4.2.4.1. Classificação.

Os resíduos são classificados em:

- Resíduos classe I – Perigosos . São aqueles que podem apresentar risco à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamentos e disposição especiais em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

- Resíduos classe II – Não-perigosos. Podem ser classificados em:



Os resíduos não-inertes não apresentam periculosidade, porém não são inertes, podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. São basicamente os resíduos com as características do lixo doméstico.

Os resíduos Inertes são aqueles que a serem submetidos aos testes de solubilização, de acordo com a norma NBR 10007/2004, não têm nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores da água, fazendo com que a água permaneça potável quando em contato com o resíduo.

Dondi e colaboradores (1997) estudando a reciclagem de resíduos industriais e urbanos na produção de tijolos, verificaram que devido à composição variada das massas argilosas e de sua plasticidade tornou-se possível a incorporação de diversos tipos de resíduos, com o objetivo de reduzir os rejeitos provenientes de diversificadas atividades.

Através das características dos resíduos provenientes destas atividades, os autores propuseram a seguinte classificação quanto à incorporação às massas cerâmicas: Resíduos redutores de plasticidade e plastificantes, resíduos fundentes, resíduos combustíveis e cinzas volantes.

Os resíduos redutores de plasticidade e plastificantes são assim denominados, pois são materiais que quando adicionados às massas cerâmicas, provocam a redução de sua plasticidade geral, e, além disso, possuem uma composição silicática (Dondi *et al.*, 1997). A quantidade dos resíduos incorporados às massas cerâmicas podem variar bastante, provocando mudanças nas propriedades mecânicas, retração e absorção de água (Sabrah & Ebied, 1987).

Os resíduos fundentes são aqueles que diminuem o ponto de fusão das massas cerâmicas, podendo representar um ganho energético de combustível para a queima dessas massas (Montano *et al.*, 2001) e também diminuem a porosidade do material. Linhas da esmaltação de revestimentos cerâmicos e rejeitos da indústria

mecânica e metalúrgica, tendo uma composição sílica-alumina maior que 50% e com porcentagens variáveis de metais pesados, alcalinos e alcalinos-terrosos, são exemplos desses resíduos (Dondi *et al.*, 1997).

Resíduos combustíveis normalmente possuem uma elevada quantidade de matéria-orgânica que, quando queimados, provocam reações exotérmicas com liberação de calor favorecendo uma economia de combustível de até 40%. Além disso, conferem redução da retração e resistência mecânica e aumento da porosidade em agregados leves (Dondi *et al.*, 1997).

As cinzas volantes são resíduos provenientes da queima de produtos com elevado teor de carbono, produzindo matéria inorgânica que não tem propriedades combustíveis (Dondi *et al.*, 1997). Como exemplos pode-se citar a incineração de lixo urbano que tem como objetivo: gerar energia e reduzir o volume e a massa desses resíduos, visando à economia de espaço e promover a desinfecção do aterro com a queima da matéria-orgânica (Barbieri *et al.*, 2000).

Vieira e Monteiro (2009) ao estudarem diversos tipos de rejeitos industriais apresentaram uma revisão atualizada sobre a incorporação de diferentes tipos de resíduos sólidos em cerâmica vermelha.

De acordo com o estudo, os autores propuseram a seguinte classificação:

- Resíduos combustíveis;
- Resíduos fundentes;
- Resíduos que afetam as propriedades cerâmicas.

Os resíduos combustíveis são aqueles que apresentam alto poder calorífico devido à elevada concentração de matéria-orgânica. Essa categoria inclui resíduos da indústria de papel, lama de alto forno e resíduos derivados da extração e refino de petróleo (Vieira e Monteiro, 2009).

Os resíduos fundentes são assim denominados, pois apresentam uma quantidade relativamente alta de metais alcalinos e alcalinos terrosos (K_2O e Na_2O) que em reação com a sílica e a alumina promovem a formação de fase líquida aumentando a densificação (Vieira e Monteiro, 2009). Nessa categoria os autores incluem resíduo de serragem de rochas ornamentais, vidro e cinzas.

Vieira e Monteiro (2009) caracterizaram os resíduos que afetam as propriedades cerâmicas como aqueles que interferem na resistência mecânica,

absorção de água e retração linear. Os autores classificam como resíduos que afetam as propriedades cerâmicas o chamote, resíduos de mineração, lodo de tratamento de água e cinzas.

O resíduo de granito, objeto de estudo desse trabalho, segundo Vieira e Monteiro (2009), pode ser classificado como resíduo fundente. Para Dondi *et al.*, (1997), o resíduo de granito também é classificado como fundente. Esse resíduo ao ser incorporado na massa cerâmica contribui para a formação de fase líquida, melhorando a qualidade do produto final.

Entretanto, os estudos sobre a incorporação de resíduos em cerâmica vermelha têm se tornado cada vez mais frequentes e grande de alto interesse científico, visto que algumas vantagens são observadas. Além disso, a incorporação de resíduos em cerâmica vermelha pode minimizar os prováveis impactos causados ao meio ambiente se descartados indevidamente.

4.2.4.2. Classificação do resíduo de rocha ornamental.

Braga, 2010; apresentou estudos sobre a caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais.

De acordo com os estudos de Lorenzoni (2005), dados de Buzzi *et al.* (2006) e de Manhães e Holanda (2008), verifica-se que 6 de 12 de lama de beneficiamento de rochas ornamentais (LBRO) ou 50% das amostras, foram classificadas como classe IIB - inerte e 50%, como classe IIA - não-inerte para os parâmetros Al, F., Pb, Hg, Cl, Cr, Fe, Mn.

Essa classificação permite que as lamas de beneficiamento de rochas ornamentais (LBRO) sejam consideradas resíduos classe IIB ou classe IIA. Porém, é um resultado insuficiente para servir de referência para a elaboração de um plano de gerenciamento por parte das empresas e fiscalização por parte dos órgãos de controle ambiental, por ser obtido a partir de um pequeno número de amostras e de diversas fontes, sendo algumas delas de origem e metodologia de coleta desconhecida. A classificação deste resíduo foi feita de acordo com a norma NBR 10004/2004.

Além disso, impossibilita a tomada de decisões, de forma técnica e racional, sobre a definição de qual a melhor forma de gerenciar esses resíduos. Como consequência, as decisões passam a ser tomadas pelos consultores, conforme Couto *et al.* (2007), que projetaram um aterro industrial Classe IIA para as LBRO com um mínimo de dados de classificação, ignorando os dados de literatura, mas sem desconsiderar uma tendência preferencial da não-inerticidade de alguns parâmetros presentes nessas lamas.

4.2.4.3. Resíduo do Segmento de Rochas Ornamentais

O processo produtivo das indústrias de rochas ornamentais engloba desde o processo de extração (exploração das jazidas), passando pelo beneficiamento (serragem e polimento), até o armazenamento e transporte. Em todos estes processos ocorre a geração de resíduos. A Figura 4.9 apresenta um esquema de geração de resíduos de todo o processo de beneficiamento de rochas ornamentais.

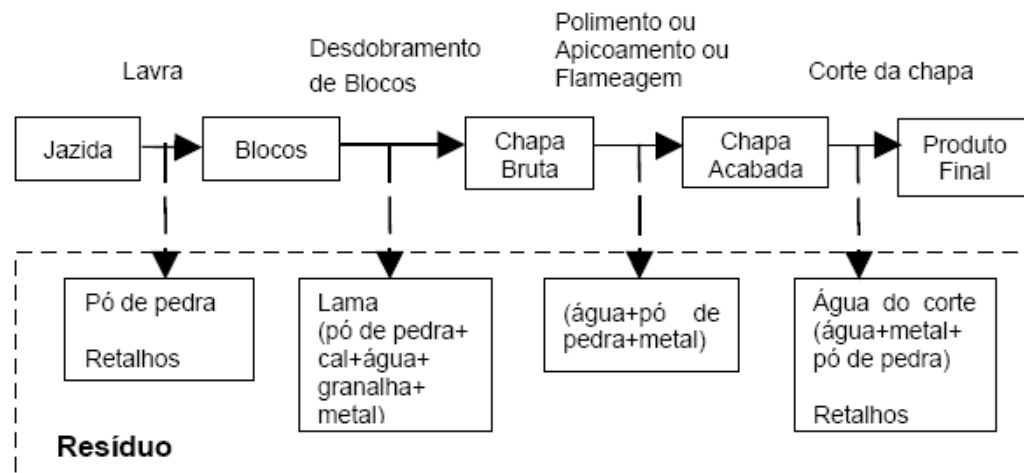


Figura 4.9. Esquema de geração de resíduos na indústria de rochas ornamentais

Fonte: Reis, 2008.

Basicamente, o beneficiamento de rochas ornamentais é dividido em: extração de blocos, desdobramentos de blocos, polimento, cortes e acabamentos finais.

O processo de extração, que é denominado de lavra é uma das primeiras etapas de beneficiamento das rochas ornamentais. Na lavra as explorações de jazidas de rochas ornamentais são realizadas através da combinação de diversas técnicas disponíveis, com o intuito de otimizar os ciclos produtivos, e os resultados econômicos e financeiros (Regadas, 2006).

Para a extração dos blocos são usados fios diamantados, marteletes, explosivos e massas expansivas para retirada dos blocos (Frasca, 2007).

O tamanho dos blocos extraídos neste processo variam de 5m^3 a 10m^3 . A extração dos blocos em dimensões ideais deve ser garantida, para melhor aproveitar o material e atender à capacidade produtiva dos equipamentos das fases posteriores (Maia e Lacerda, 2000).

A Figura 4.10 apresenta o processo de extração de blocos de pedra, denominado de lavra.



Figura 4.10. Processo de extração de blocos de pedra.

Fonte: Reis, 2008.

Após a lavra, o processo de beneficiamento se divide em três etapas; desdobramento do bloco (serragem / corte do bloco em chapas), tratamento

superficial das chapas por meio de: (levigamento, polimento e outros processos de acabamento), corte das chapas em peças de dimensões comerciais.

A Figura 4.11 apresenta os processos de beneficiamento das rochas ornamentais.



Figura 4.11. Processos de beneficiamento. (a) Desdobramento, (b) polimento, corte e (c) acabamento

Fonte: Reis, 2008.

A Figura 4.12 apresenta o resíduo de granito gerado durante o processo de beneficiamento, descartado no meio ambiente. Este material, normalmente é depositado em lagoas de sedimentação, diretamente no solo das áreas das empresas.

Essa lama fica depositada por um determinado tempo e depois é levada a aterros industriais. De acordo com Pontes e Stellin, 2001; existem casos em que o resíduo é lançado diretamente nos cursos d'água.

Uma alternativa de utilização desses resíduos gerados nos processos de beneficiamento de rochas ornamentais é incorporando esse material em outro, como por exemplo na cerâmica vermelha, fazendo com que os impactos ambientais sejam minimizados.



Figura 4.12. Lagoas de sedimentação de resíduo no solo em empresas de pequeno porte.

Fonte: Reis, 2008.

O resíduo estocado no meio ambiente causa grande impacto ambiental. Muitos desses resíduos são descartados em cursos de água fazendo com que as propriedades da água sejam mudadas.

Esses impactos ambientais causados pelo setor de rochas ornamentais envolve todo o processo. Os impactos classificam-se quanto à sua natureza, se de ordem social, econômica ou civil-trabalhista, se causam danos diretamente à saúde do homem ou indiretamente por contaminação do meio ambiente (Calmon e Silva, 2006).

Na etapa de beneficiamento, quase na totalidade dos casos, as empresas lançam seus resíduos, na forma semi-sólida (lama fluída), em locais inadequados,

em tanques de acúmulo diretamente no solo sem a devida impermeabilização. Não há nenhum tipo de recirculação do líquido. Ocorre eliminação de parte da água contida no resíduo, através de evaporação e infiltração no solo, permanecendo a outra parte como umidade dos resíduos acumulados no solo a céu aberto (Calmon e Silva, 2006).

Esse processo de infiltração da água e sua movimentação no perfil do solo ainda é um assunto desconhecido no caso dos efluentes de lama abrasiva, mas dentre as várias possibilidades esses resíduos podem alterar as condições naturais do subsolo e do lençol de água subterrâneo.

A Figura 4.13 apresenta uma fonte de água contaminada com o resíduo de rocha ornamental.



Figura 4.13. Curso de água contaminado com o lançamento de resíduos de rocha ornamental. (Calmon e Silva, 2006).

Devido à grande quantidade de resíduos gerados no município de Cachoeiro de Itapemirim, hoje a cidade já possui dois aterros de resíduos de rochas ornamentais, a AAMOL (Associação Ambiental Monte Líbano) e a ADAMAG (Associação de Desenvolvimento Ambiental do Mármore e Granito).

Pelo fato da cidade ser um grande pólo industrial do Estado do Espírito Santo e até mesmo do País, as empresas já estão se conscientizando da problemática ambiental que se passa na cidade. No entanto, algumas delas já encaminham esses

resíduos para centros de pesquisas para que esse material possa ter alguma viabilidade.

A Figura 4.14 apresenta como é feito o transporte de resíduo para os aterros.



Figura 4.14. Transporte de resíduo e aterros de resíduo.

Fonte: Reis, 2008.

4.2.4.4. Destinação final do resíduo do segmento de rochas ornamentais

Existem várias aplicações para a destinação final dos resíduos de rochas ornamentais, principalmente nas indústrias cerâmicas e na construção civil. Na atualidade, existe um grande número de pesquisas sendo realizadas.

Com o intuito de aproveitar este material, foram realizados alguns trabalhos relevantes, incorporando os resíduos de rochas ornamentais em: cerâmica vermelha, cimento, argamassa, vidro, concreto, porcelanatos, revestimento, piso, conforme será abordado a seguir.

4.2.4.4.1. Utilização de resíduos em cerâmica vermelha.

Vieira *et al.*, (2003), estudaram comparativamente as características e propriedades tecnológicas de uma típica massa cerâmica para telhas do município de Campos dos Goytacazes-RJ, com outras três massas cerâmicas de reconhecida qualidade técnica, provenientes dos Estados de Santa Catarina e Piauí, e de

Portugal. Os resultados indicaram que a massa cerâmica proveniente de Campos apresentou um comportamento de queima diferente, com maiores valores de absorção de água, de resistência mecânica e de retração linear.

Silva *et al.*, (2005), estudaram a incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas. O trabalho descreve a variação do comportamento de uma argila utilizada numa indústria de cerâmica vermelha, resultante de adições de uma lama de mármore e granito, tal como é produzida em uma indústria de beneficiamento de pedras ornamentais no Estado do Rio Grande do Norte. Os resultados mostraram que a lama de mármore e granito pode ser incorporada na massa de argila sem perda ou comprometimento das propriedades dos corpos sinterizados de cerâmica vermelha.

Xavier *et al.*, (2003), por meio de planejamento experimental fatorial, a melhoria dos ensaios físico-mecânicos das misturas de resíduo do corte de granito na massa cerâmica vermelha moldada por prensagem. Foram preparados misturas argilosas com vários teores de resíduo, e foram queimadas e ensaiadas. A partir do tratamento estatístico, conclui-se que o uso de 5% de resíduo a 900°C produziu peças cerâmicas de baixa absorção de água, menor variação das dimensões lineares e menor peso.

Mello, (2006) estudou o uso do resíduo do acabamento e manufatura de granito em cerâmica vermelha. Foram preparadas massas de argillito com resíduo nos teores de 0%, 8%, 16%, 24%, 32% e 40%. Os valores encontrados de absorção de água, porosidade e massa específica aparente foram mais altos que da mistura sem adição de resíduo, mas, atenderam a norma. Contudo, foi confirmada a adição em até 40% e massa, em produtos de cerâmica vermelha.

Xavier *et al.*, (2009) estudaram sobre a durabilidade de artefatos cerâmicos vermelhos incorporados com resíduo de granito. Os resultados mostraram que certa quantidade de incorporação de resíduo de granito tem influência considerável na evolução da degradação.

Moreira *et al.*, (2003) estudaram a utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. O objetivo do trabalho foi utilizar um resíduo de serragem de granito, provenientes da indústria de pedras ornamentais do estado, como aditivo na fabricação de produtos cerâmicos

para construção civil. Os resultados revelam que o resíduo é um material polimineral não plástico constituído basicamente de sílica, feldspato, mica e calcita. Uma série de transformações de fases ocorreram durante a sinterização. Além do mais, os corpos sinterizados contendo resíduo de granito têm uso provável em cerâmica vermelha, contribuindo para a minimização de resíduos e desenvolvimento auto-sustentado.

Xavier *et al.*, (2007) estudaram a avaliação da alteração de peças cerâmicas incorporadas com resíduo de granito provocado pelo intemperismo. O objetivo do trabalho foi avaliar a degradação sofrida por corpos de prova cerâmicos com 0,5 e 10% de resíduo de granito, calcinados a 500°C, 700°C e 900°C expostos ao tempo. As amostras foram submetidas às condições climáticas locais, durante períodos de 6, 8 e 10 meses, considerados ensaios de alteração de campo. Os resultados mostraram a influência do resíduo na massa argilosa, bem como a redução da ruptura à flexão do material degradado.

Vieira *et al.*, (2004) estudaram a incorporação de resíduo de granito proveniente de uma indústria de pedra localizada no município de Santo Antônio de Pádua-RJ em cerâmica vermelha. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da incorporação de resíduo de granito em massa cerâmica vermelha. Os resultados indicaram que o resíduo de granito apresenta características favoráveis para a adição em cerâmica vermelha, devido as facilidades para as fases de secagem e diminuição de porosidade.

Pazeto *et al.*, (2008) incorporou o resíduo de granito Iberê Crema Bordeaux em cerâmica argilosa e conclui que o resíduo pode ser usado como fundente em cerâmica com grandes benefícios, podendo melhorar as propriedades tecnológicas de queima, além de trazer retorno econômico e grandes vantagens para o meio ambiente.

Menezes *et al.*, (2005) estudou o uso de serragem de resíduo de granito na produção de tijolos e telhas. O objetivo foi caracterizar e avaliar as possibilidades de utilização dos resíduos de serragem de granito, geradas pelas indústrias do estado da Paraíba, como alternativa para produção de produtos cerâmicos como tijolos e telhas. Os resultados mostraram que os corpos de prova produzidos a partir de

composições de cerâmica reformulada, tinha características tecnológicas de acordo com a padronização brasileira de tijolos e telhas.

Acchar, Vieira e Hotza (2006), estudaram o comportamento de materiais argilosos com incorporação de resíduo de mármore e granito. O resíduo promoveu melhoria na absorção de água, na densidade e na resistência a flexão nas temperaturas de sinterização estudadas. Foi concluído que o resíduo, em até 50% em massa, pode ser incorporado em materiais argilosos.

Pedroti, (2011) desenvolveu massa cerâmica com o uso de resíduo de granito para obtenção de blocos cerâmicos prensados de encaixe de matriz argilosa. O objetivo do trabalho foi desenvolver uma formulação de massa cerâmica com a utilização de argilas caulínicas de Campos dos Goytacazes e resíduo do corte dos blocos de granito de Cachoeiro de Itapemirim, para obtenção de blocos cerâmicos prensados modulares, possibilitando a obtenção de materiais alternativos em uma nova técnica construtiva. Os resultados mostraram que o resíduo é um material que pode ser adicionado na mistura, o que melhoraria o desempenho mecânico da peça, além de diminuir os efeitos dos impactos ambientais tanto da extração da argila utilizada na região, quanto o resíduo de granito que é depositado sem qualquer fim definido.

4.2.4.4.2. Utilização de resíduos em cimento

Bahiense, (2011) estudou pavimentos intertravados de matriz cimentícia incorporados com lama do beneficiamento de rochas ornamentais. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência da incorporação da lama de beneficiamento de rochas ornamentais como agregado na constituição dos pavimentos intertravados de matriz cimentícia, favorecendo o empacotamento de matérias-primas, areia de leito de rio e brita zero, por meio do índice de vazios mínimo. Os resultados mostraram que o traço que apresentou melhor resposta, considerando os critérios mecânicos da norma brasileira e do período pré-cura, alcançou um teor em massa total da mistura de 20% de incorporação de LBRO (25% dos agregados), com 20% de aglomerante (cimento portland), para uma relação a/c de 0,5. Além disso, este traço

foi caracterizado ambientalmente segundo a norma brasileira e francesa, não sendo constatado risco ambiental para a dosagem indicada.

Destéfani (2009) estudou a utilização do planejamento experimental na adição do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais para produção de blocos prensados de encaixe. O trabalho tinha o objetivo de incorporar o resíduo de granito em misturas para a produção de blocos prensados e de encaixe para alvenaria, a fim de se avaliar as diversas proporções dos constituintes por meio do planejamento de experimentos em Rede Simplex, buscando soluções técnicas, sem o tradicional empirismo existente na indústria, com o objetivo de se alcançar um desempenho satisfatório da propriedade analisada (resistência à compressão). Pode-se concluir que o resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais estudado neste trabalho, apresenta características satisfatórias para sua utilização como fíler, na produção de blocos prensados de encaixe.

Gobbo *et al.*, (2004) apresentaram alternativa de uso do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais e de revestimento na fabricação de cimento Portland. Foram realizadas análises: granulométrica e química dos resíduos. Conclui-se que a granulometria do resíduo é favorável ao seu uso em cimento, além de ter apresentado redução no consumo de energia no processo de fabricação.

Mello *et al.*, (2006) estudaram em Portugal a incorporação de lamas da indústria de rochas ornamentais, predominantemente carbonáticas, na indústria cimenteira. Foram feitas análises químicas e granulométricas do resíduo que indicaram como sendo 95% das partículas de dimensões menores que 0,02 mm, ordem de grandeza interessante, em relação ao tamanho das matérias-primas do cimento. Os resultados da análise química revelaram que o produto obtido estava dentro da gama de composições químicas usuais para cimento. Constatou-se que o clínquer obtido apresentou densificação elevada, idêntico ao material produzido pela indústria portuguesa.

4.2.4.4.3. Utilização de resíduos em argamassa

Carvalho *et al.*, (2002) estudaram a aplicação dos resíduos das serrarias de Santo Antônio de Pádua na formulação da argamassa industrial substituindo o

calcário, onde na atualidade funciona uma fábrica de argamassa produzida com a incorporação de resíduo. Foi estudada a incorporação de 10 a 30% de resíduo na fabricação de cerâmica vermelha, substituindo a argila “magra” e também a utilização dos resíduos como a carga em formulações de borracha, verificando a possibilidade do uso do resíduo em até 40% em volume.

Freire e Motta, (1995) realizou uma caracterização preliminar do resíduo de granito e analisou alternativas para o seu aproveitamento, foi constatado que ele, por apresentar fina granulometria e composição química com a presença de óxidos, tais como SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 , K_2O e NaO , é compatível com o uso em argamassas na construção civil, entre outras aplicações enumeradas.

Tenório, (2004) e Tenório *et al.*, (2005) estudaram o uso do resíduo do polimento e corte de granito nas argamassas, substituindo cimento e areia, nos teores de 5% e 10% em volume. Foram adotadas dosagem 1:3 (cimento: areia), em massa, e consistência de $255 \pm 10\text{mm}$. A resistência à compressão e o módulo de elasticidade nas argamassas com resíduo substituindo a areia aumentaram com o aumento do teor de resíduo com melhor resultado para a substituição de 10% da areia por resíduo. Já nas argamassas com substituição de cimento por resíduo, houve queda da resistência e o módulo de elasticidade apresentou ligeiro aumento com 10% de substituição de resíduo em relação à argamassa de referência. No entanto concluiu-se que o resíduo agiu como fíler nas argamassas.

4.2.4.4.4. Utilização de resíduos em vidro

Babisk, (2009) desenvolveu vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais. Foi desenvolvido no trabalho, quatro tipos de vidro sodo-cálcicos utilizando resíduos de rochas ornamentais, as composições foram ajustadas com a adição de areia e carbonatos de sódio e cálcio. Os resultados mostraram que estes resíduos podem ser utilizados como aditivos na fabricação de vidros, obtendo assim uma destinação a este resíduo e minimizando o impacto ambiental.

Rodrigues, (2009) desenvolveu no seu trabalho a reciclagem de resíduos visando à produção de lâ mineral. O objetivo do seu trabalho foi investigar o uso dos resíduos de corte de mármore e da mistura de resíduos de mármore e granitos como

matéria-prima para a fabricação de lã de vidro e lã de rocha. Os resultados mostraram que a mistura do corte de mármore e granito é promissora visto que o resíduo de mármore é rico em CaO e o resíduo de granito é rico em SiO₂, sendo utilizado neste trabalho em até 78,3% e 91,6% em massa de resíduo como matéria-prima para a fabricação de lã de vidro e lã de rocha.

4.2.4.4.5. Utilização de resíduos em concreto

Lameiras, (2004) observou o uso do resíduo de beneficiamento de chapas de granito em concreto. Nos concretos com resíduos, houve aumento da demanda de água para a manutenção da consistência. O resíduo não interferiu nos módulos de elasticidade dos concretos. Em relação à resistência a compressão, com o resíduo substituindo o cimento em 10%, houve perda da resistência na ordem de 9% e 15%. Já a substituição de parte do agregado miúdo ocasionou aumento da resistência à compressão do concreto, chegando a ganhos de até 26%, no caso dos concretos com relação a/c igual a 0,65 e 30% de substituição do agregado pelo resíduo.

Calmon *et al.*, (2005) disse que o concreto auto-adensável (CAA) tem capacidade de preencher completamente espaços somente sob a ação do próprio peso, sem auxílio de vibração. O CCA necessita de componentes capazes de garantir alta fluidez e moderada coesão; tais como o aditivo superplastificante, os aditivos modificadores de viscosidade e/ou adições minerais.

Em Lisboa *et al.*, (2004) e Lisboa, (2004); foi estudado o uso do resíduo de corte de mármore e granito como adição mineral em concreto auto-adensável (CCA). Foram estudadas dosagens para a argamassa, onde foram verificados: comportamento de fluxo, resistência à compressão e módulo de elasticidade. Foi produzido CAA com 50% de resíduo, em relação à massa de cimento. Observou-se que o resíduo ajudou a argamassa e a pasta a conseguirem alta fluidez, que é característica do CCA.

Gonçalves, (2000) e Gonsalves *et al.*, (2002), estudaram o aproveitamento do resíduo de corte de granito como adição na confecção de concreto, em teores de 10% e 20%, em relação a massa de cimento. Os resultados alcançados foram: incremento na coesão e na consistência e diminuição na exsudação. O desempenho

da resistência à compressão axial melhorou e o desempenho da resistência à tração por compressão diametral nos concretos com 10% de resíduos, também melhorou.

Barros e Gomes, (2005); usaram o resíduo da indústria do corte e beneficiamento de mármore e granito em concreto auto-adensável (CAA), como uma alternativa para produção de elementos pré-moldados, tendo como referências os trabalhos de Lameiras, (2004) e Lisboa, (2004). No concreto fresco, foram analisadas as propriedades de fluxo e, no estado endurecido, foram determinados a resistência mecânica à compressão e à tração e o módulo de elasticidade, nas idades de 3, 7 e 28 dias. Os resultados foram satisfatórios e o teor de resíduo adicionado foi de 50% em relação à massa de cimento.

Quebaud e Gomes, (2006); verificaram a influência do uso do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais (pó de mármore) como adição mineral em argamassas e concretos. Nos concretos e nas argamassas com dosagem 1:3, em massa, o resíduo foi adicionado nos teores de 10% a 50%, em relação à massa de cimento. Nas argamassas, foi verificado que a consistência diminuiu e a massa específica aumentou. E nos teores de 30% a 50% de resíduo foram obtidos os melhores resultados. A resistência à compressão das argamassas se elevou com teor de resíduo de até 40%. O resultado nos concretos produziu um acréscimo na resistência para todos os teores de resíduo.

Binici, Kaplan e Yilmaz, (2007); investigaram algumas propriedades do concreto contendo pó de mármore, que agiu como um fíler. Foram feitas misturas com 0%, 5%, 10% e 15% de pó de mármore substituindo a areia. Os resultados dos testes realizados em 7, 28, 90 e 360 dias indicaram que houve aumento na resistência à compressão e na resistência a sulfatos e diminuição da permeabilidade com o aumento do teor do resíduo. E a resistência à abrasão foi comparável à do concreto convencional. Pode-se concluir que o resíduo tornou o concreto mais durável.

Almeida *et al.*, (2007) avaliaram o uso da lama de rocha natural, gerada no processamento de mármore e calcário, substituindo a areia, em concreto. Foram feitas misturas de concreto com resíduo, substituindo de 0% a 100% do volume de

areia. Nos resultados de resistência à compressão, módulo de elasticidade com até 20% de resíduo houve melhoria, o que foi explicado pelo seu efeito fíler.

4.2.4.4.6. Utilização de resíduos em porcelanas

Crespo e Rincon, (2001); estudaram a adição do resíduo em formulações de porcelanato, que é um material não-poroso, compacto e não completamente vítreo. O porcelanato é obtido por meio da mistura de argilas caulínicas, feldspatos e quartzo. Foram feitas misturas com resíduo de granito, e analisadas as propriedades físicas e mecânicas. Por meio das curvas de sinterização, observou-se que a adição do resíduo na pasta convencional implicou melhoria no processo de queima principalmente na absorção de água. Já a retração linear aumentou com o aumento da temperatura e depois estabilizou. Os valores de densidade e microdureza dos corpos formados ficaram bem próximos dos valores do porcelanato convencional. Comparou-se o módulo de elasticidade ao dos produtos vítreo-cerâmicos. Com base nos resultados obtidos, foi considerado viável o uso do resíduo em porcelanato. Assim como o porcelanato, o ladrilho de porcelana tem de satisfazer rígidos padrões de qualidade, que dependem da alta qualidade das matérias-primas e da otimização no processo de fabricação.

Em Torres *et al.*, (2004), o resíduo de granito na forma de lama, obtida da indústria de corte de granito, foi incorporado em formulações de ladrilhos de porcelana, para substituir o feldspato. Foi avaliada a influência da lama de granito no mecanismo de transformação de fase da formação da porcelana. Apesar do objetivo inicial ter sido a substituição do feldspato pelo resíduo, os melhores resultados foram alcançados quando ambos, o feldspato e o resíduo, estavam presentes. Na densidade, retração e plasticidade dos materiais durante a produção, a incorporação do resíduo teve efeito desprezível. Em contrapartida, a presença do resíduo diminuiu consideravelmente a absorção de água e aumentou a resistência mecânica, comparando com a porcelana comercial.

4.2.4.4.7. Utilização de resíduos em revestimento

Torres *et al.*, (2007), desenvolveu composições de revestimentos cerâmicos baseado na lama de resíduo de granito e quartzito. O objetivo foi avaliar novas massas que possuem melhores propriedades como absorção de água e resistência mecânica, por exemplo. Todas as formulações apresentaram um melhor desempenho com as melhorias mais significativas sendo obtidos com a incorporação do resíduo de granito. Os produtos obtidos preencheram os requisitos da ISSO 13006 padrão, que é o grupo para fabricação de porcelanato.

Menezes *et al.*, (2002), Caracterizaram e avaliaram a possibilidade de utilizar os resíduos como matéria-prima cerâmica na produção de blocos e revestimento cerâmicos, incorporando 20 a 60% de resíduo.

4.2.4.4.8. Utilização de resíduos em Piso

Segadães, Carvalho e Acchar (2005) verificaram o uso do resíduo de corte de mármore e granito para confecção de ladrilhos cerâmicos de piso. Foram confeccionadas misturas com resíduo no teor de até 30% em massa. As misturas foram prensadas e sinterizadas a 1100°C a 1150°C. Os resultados obtidos nos ensaios, tais como a retração de queima, a absorção de água e a resistência mecânica, melhoraram, evidenciando a possibilidade de usar temperaturas mais baixas de queima para os produtos cerâmicos analisados.

Souza *et al.*, (2010), utilizou resíduo de rocha ornamental para fabricação de pisos para a construção civil. Os resultados afirmaram que os resíduos aceleraram a formação de fase líquida e, portanto, a sinterização, resultando em microestruturas mais densas. As propriedades tecnológicas do material foram influenciadas pela adição do resíduo.

Fica evidente a importância dos trabalhos realizados, buscando e encontrando finalidades para os resíduos de rochas ornamentais, pois agregam valor a um material que polui, minimizam o impacto ambiental através da diminuição da disposição dos resíduos diretamente na natureza.

Algumas destas alternativas podem ainda diminuir a utilização de outros recursos naturais, dependendo do processo estudado como no presente trabalho, que é uma matéria-prima obtida através da atividade de extração mineral, que de acordo com Lelles *et al.*, (2005), é responsável por mais de 35 impactos ambientais negativos.

4.2.4.5. Reaproveitamento de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais em cerâmica vermelha.

Como vem sendo realizadas várias pesquisas com rochas ornamentais, existem vários trabalhos, mostrando a aplicabilidade destes resíduos e os resultados obtidos através de análises.

A Tabela 4.3 apresenta a composição química de resíduos de rochas ornamentais.

Tabela 4.3. Composição química de resíduos de granito.

Composições (% em peso)	Trabalhos científicos					
	Vieira <i>et al.</i> (2004)	Monteiro <i>et al.</i> (2004)	Moreira <i>et al.</i> (2008)	Acchar <i>et al.</i> (2006)	Souza <i>et al.</i> (2010)	Torres <i>et al.</i> (2009)
SiO₂	67,14	64,14	72,17	44,21	66,43	62,70
Al₂O₃	14,92	13,25	10,80	22,38	17,23	12,75
Fe₂O₃	4,40	8,18	5,04	9,86	3,70	10,63
TiO₂	0,73	0,96	1,07	2,33	0,83	0,24
CaO	1,91	3,56	2,33	8,71	2,23	3,96
K₂O	5,18	4,40	3,87	4,13	7,49	4,34
Na₂O	2,93	2,55	2,34	2,71	1,01	3,34
MgO	0,73	1,65	0,94	3,51	0,32	0,80
MnO	-	-	0,08	0,15	0,08	0,10
P₂O₅	-	-	0,27	-	-	0,26
PF	0,50	1,60	1,08	0,43	0,65	0,70

Pode-se observar que ambos os resíduos de todos autores apresentaram grande quantidade de sílica e alumina e também do ferro. Esse elevado teor de ferro

nos resíduos são provenientes do processo de beneficiamento da tecnologia de tear convencional. Estes mesmos também possuem uma quantidade significativa de óxidos alcalinos que atuam como fundentes, entretanto, contribuem para a sua incorporação na cerâmica vermelha. Porém, o resíduo de granito sem a utilização de granalha contribui para a fabricação de produtos cerâmicos de cor clara, devido a sua baixa porcentagem de ferro, como as telhas, por exemplo, que são produtos de maior valor agregado.

Quanto à influência de cada tipo de resíduo de granito adicionado, percebe-se que o pó deste resíduo influenciou as propriedades das cerâmicas.

Este tipo de comportamento pode ser entendido a quantidade de óxidos fundentes e o tipo de interação entre a argila e cada tipo de resíduo de granito em função da temperatura de queima. O resíduo de granito possui uma porcentagem significativa de óxidos alcalinos.

No trabalho de Monteiro *et al.* 2004 O resíduo de granito apresentou elevado percentual de óxidos alcalinos ($K_2O + Na_2O$) que são provenientes dos feldspatos e mica muscovita. Com isso, esta matéria-prima apresenta um grande potencial fundente. Os percentuais de Fe_2O_3 e CaO , são provenientes dos minerais constituintes do granito como eventualmente mica para os compostos de ferro e feldspato plagioclásios para a CaO . Também contribuem para elevar os percentuais de Fe_2O_3 e CaO do resíduo do granito, a granalha e cal utilizados como abrasivos e lubrificante, respectivamente, na etapa de serragem

As massas cerâmicas apresentam uma diminuição nos valores de absorção de água e aumento da retração linear com o aumento da temperatura de queima observados na Figura 4.15. Isto é devido ao fenômeno de vitrificação que diminui a porosidade das amostras. A vitrificação é a formação de fase líquida que envolve as partículas sólidas, que por ação das forças decapilaridade, promove a densificação e retração do material. Até a temperatura de $1000^{\circ}C$, não há diferenças muito significativas nos valores de absorção de água das massas reformuladas (M1, M2 e M3) e industrial (MI). A partir daí, a massa MI apresenta uma brusca diminuição da absorção de água, alcançando valores de 14,3 e 7,5% nas temperaturas de $1050^{\circ}C$ e $1100^{\circ}C$, respectivamente. Apesar do menor teor de óxidos fundentes em relação às massas reformuladas, este comportamento da massa MI pode ser atribuído ao

elevado percentual de partículas finas e baixo percentual de quartzo. Observa-se também que valores recomendados para telhas cerâmicas, $\leq 18\%$, só foram obtidos em temperaturas superiores a 1000°C .

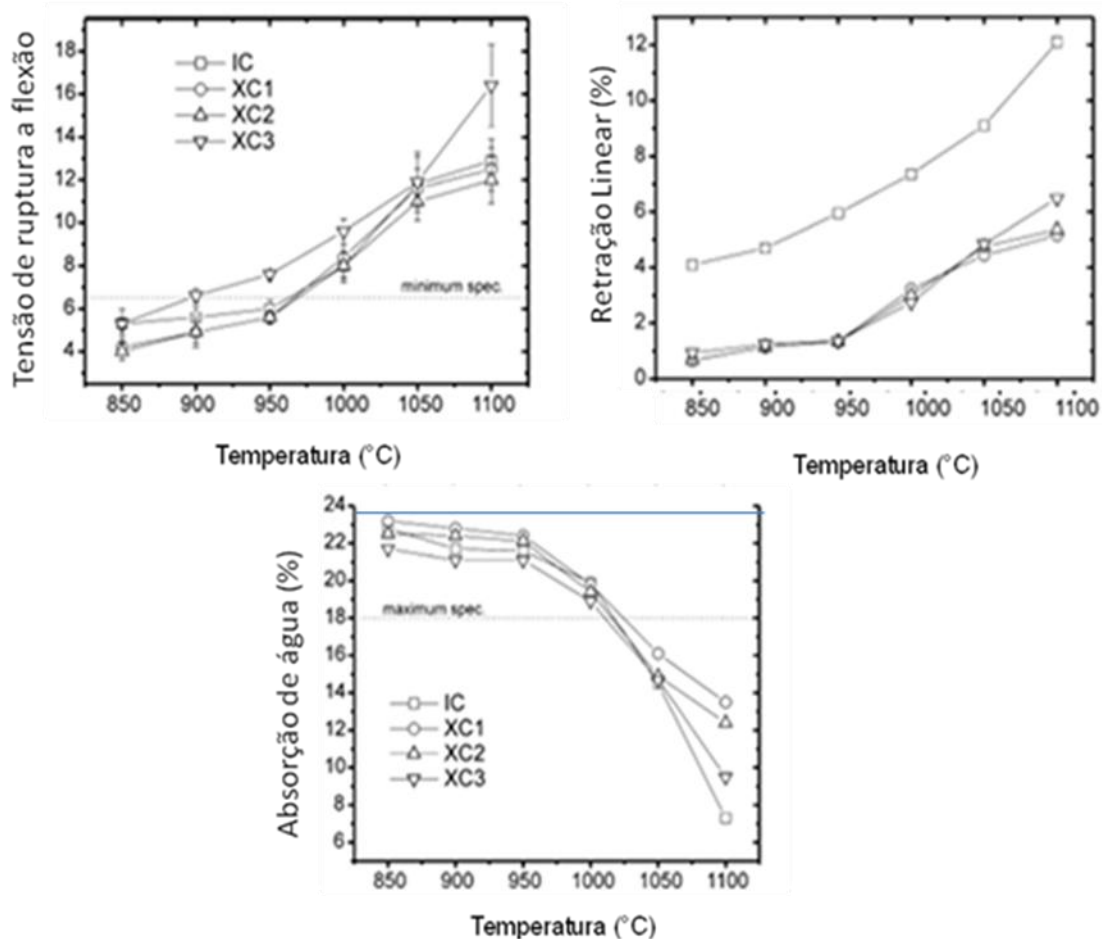


Figura 4.15. Propriedades tecnológicas da incorporação de resíduos de granito em massa cerâmica argilosa. (Monteiro *et al.* 2004)

Na Figura 4.16, pode-se observar que ocorreu uma drástica diminuição no percentual de argila preta em relação à massa industrial. Isto foi necessário devido ao seu elevado percentual de fração "argila" e o resíduo de granito, observou-se que ele localiza-se mais próximo do vértice que representa a fração de $220\mu\text{m}$. Já a areia apresenta uma granulometria mais grosseira com 94% em peso de partículas na faixa granulométrica $> 20\mu\text{m}$

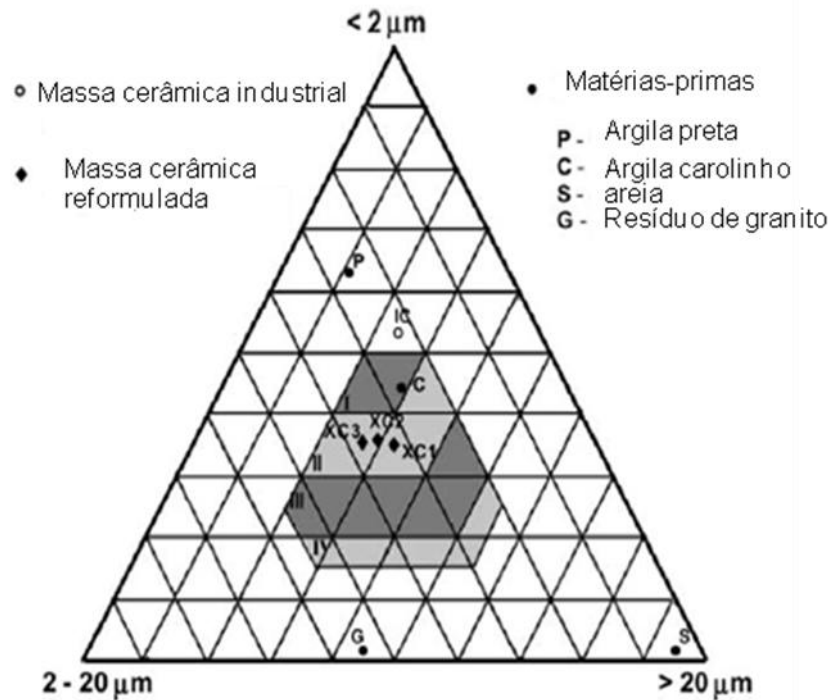


Figura 4.16. Distribuição granulométrica no diagrama de winkler das argilas e massas cerâmicas (% em massa)

Fonte: Monteiro *et al.* 2004

Os autores concluíram que:

- A massa cerâmica tem uma elevada fração de argilominerais, que se localiza fora do campo apropriado, do diagrama de Winkler. Apresentam excessiva plasticidade.

- Os corpos cerâmicos reformulados, em que a areia foi substituído por diferentes quantidades de resíduo de granito, apresentou baixa plasticidade, em comparação com a massa cerâmica industrial. O resíduo também facilitou a etapa de secagem, diminuindo o risco dimensional das peças.

- No caso específico do corpo cerâmico reformulado com a quantidade de 40% de adição de resíduo de granito, foram obtidas boas propriedades tecnológicas. Até 1000°C tem a menor absorção de água, que pode estar associado à baixa temperatura. Apresentam também maior resistência mecânica em temperaturas mais altas.

Moreira *et al.* 2008, também buscou uma destinação final correta para os resíduos de rochas. A Tabela 4.4 apresenta a composição química em porcentagem em peso de um resíduo de granito.

Tabela 4.4. Composição química (% em peso do resíduo de granito)
Fonte: Moreira *et al.*, 2003

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	PF
65,95	12,84	7,89	0,93	0,04	1,47	3,01	4,19	2,39	1,33

Pode-se observar na Figura 4.17, que o resíduo é constituído basicamente por SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ que corresponde cerca de 87%. Os altos teores de SiO₂ e Al₂O₃ obtidos são típicos de rochas ígneas graníticas. As presenças de Fe₂O₃ e CaO estão provavelmente relacionadas aos constituintes do próprio resíduo, assim como lubrificante e abrasivo no processo de corte/serragem do granito. Os óxidos alcalinos (K₂O + Na₂O), que atuam como agentes fundentes são provenientes principalmente da mica moscovita e feldspatos. A baixa perda ao fogo esta dentro da faixa para rochas graníticas

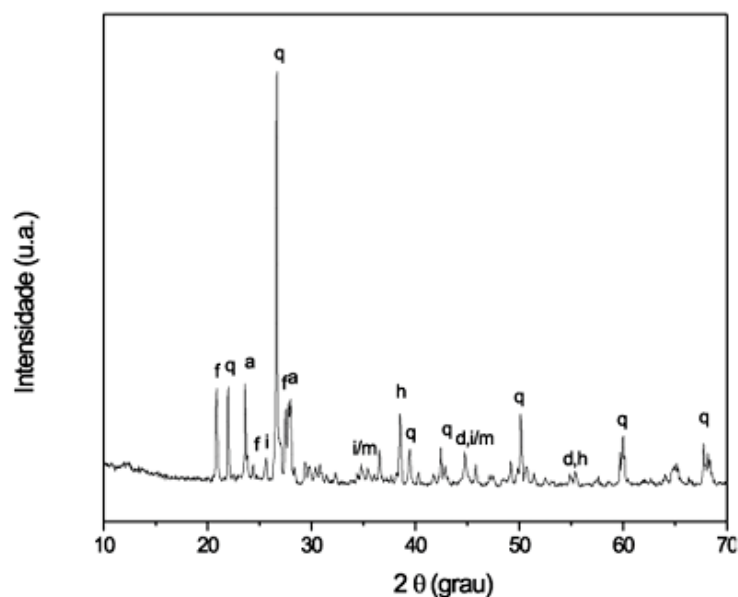
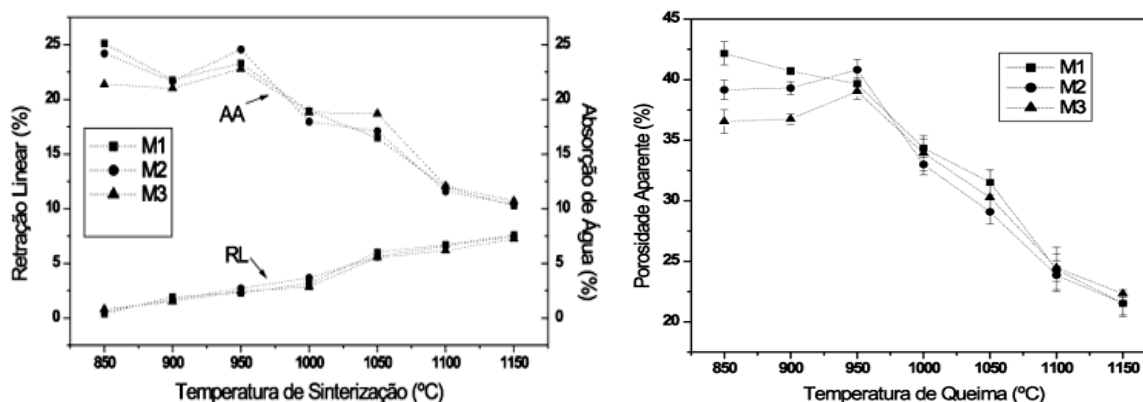


Figura 4.17. Difratograma de raios-X do resíduo de granito. F-microclina, a-albita, i/m- ilita/mica, q-quartzo, h-hematita, d-dolomita. (Moreira *et al.* 2003).

Para realização de tal estudo foi caracterizado o material. As amostras depois de sinterizadas foram avaliadas em relação à retração linear e absorção de água, porosidade aparente e resistência mecânica.

A Figura 4.18 apresenta as propriedades tecnológicas do resíduo de granito incorporado à cerâmica.

De acordo com Moreira *et al* 2003 o diagrama de gresificação mostram que, em geral, os corpos cerâmicos apresentam uma tendência de aumento do parâmetro de retração linear e diminuição nos valores de absorção de água com o aumento da temperatura empregada. Os valores de retração linear obtidos estão dentro dos limites para produção industrial. Entre 850 °C e 950 °C ocorreu pouca alteração nos valores de retração linear (0,38 - 3,01%) e absorção de água (21,62 - 25,52%). Isto está relacionado à baixa sinterabilidade dos corpos cerâmicos, caracterizado pela fraca soldagem entre os grãos. Nesta região de temperatura mecanismos de sinterização de estado sólido dominam o processo. Acima de 950 °C ocorreram modificações significativas nos valores de retração linear (3,15 - 7,59%) e absorção de água (10,83 - 18,93%). Estas modificações devem, sobretudo, a vitrificação que preenche parcialmente os poros entre as partículas mais refratárias, promovendo retração e densificação do corpo cerâmico. Quanto ao efeito do resíduo em si, nota-se que adições de até 10% em peso de resíduo tendem a reduzir levemente os valores de retração linear. Isto indica que os corpos cerâmicos contendo resíduo apresentam melhor estabilidade dimensional. Os dados de porosidade aparente e massa específica aparente dos corpos cerâmicos seguem o mesmo comportamento observado para o parâmetro de absorção de água.



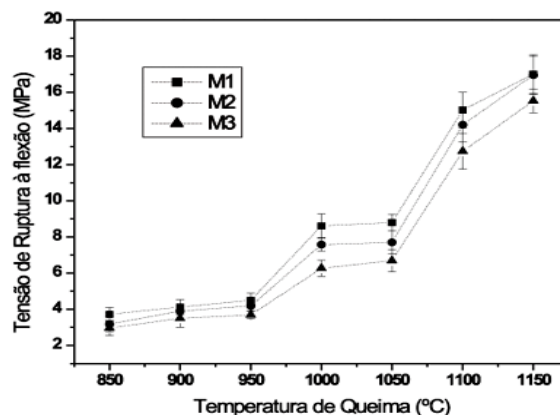


Figura 4.18. Propriedades tecnológicas da incorporação de resíduos de granito em massa cerâmica argilosa

Fonte: Moreira *et al.* 2003

Os autores concluíram que:

- Os resultados deste trabalho demonstram a possibilidade de reciclagem de resíduo de serragem de granito, gerado por empresas de beneficiamento de Cachoeiro do Itapemirim-ES, como matéria-prima alternativa para fabricação de produtos de cerâmica vermelha (tijolos, blocos cerâmicos e telhas) para construção civil. Assim, o uso desse resíduo em cerâmica vermelha constitui-se numa das melhores soluções para minimização de resíduos e desenvolvimento auto-sustentado.

- O resíduo de granito é um material não plástico rico em SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 e agentes fundentes (K_2O e Na_2O). Do ponto de vista mineralógico é constituído basicamente por quartzo, feldspatos, mica e calcita. Os corpos cerâmicos experimentaram uma série de transformações de fases durante o processo de sinterização, resultando na formação de novas fases cristalinas e vítrea. As propriedades físico-mecânicas são afetadas, tanto pela temperatura de sinterização, quanto pelo resíduo adicionado. O efeito da temperatura é mais acentuado, principalmente acima de 950 °C. No entanto, a resistência mecânica dos corpos cerâmicos são fortemente afetadas pela incorporação do resíduo. Assim, deve-se evitar quantidades excessivas de resíduo de granito na fabricação de cerâmica vermelha.

Pazeto, 2008 realizou um estudo de incorporação de resíduo de granito em cerâmica vermelha com o mesmo resíduo utilizado no presente trabalho, porém, com a utilização da granalha. Uma das maneiras de estar verificando se ocorrerá melhorias na propriedade do material cerâmico sem a granalha, é comparando com os resultados já obtidos do material com granalha já estudado.

De acordo com o estudo de Pazeto, 2008; a Figura 4.19 (DRX) mostrado abaixo apresentou como matéria-prima: biotita, albita, microclina, quartzo, muscovita, gibsita, caulinita, onde vem confirmando a análise química apresentado na Tabela 4.1, da seção 4.2.2.

A principal fase cristalina encontrada corresponde ao quartzo. O resíduo também apresenta picos de difração correspondentes a microclina, albita e biotita. Durante a queima, o quartzo atua como fase inerte e não-plástica. A microclina e a albita são benéficos para o processamento cerâmico, pois comportam-se como fundentes. O difratograma correspondente à massa cerâmica confirma a composição química, apresentando picos característicos do quartzo, caulinita, gibsita e muscovita. A caulinita é responsável pelo desenvolvimento da plasticidade em mistura com água e ainda apresenta comportamento refratário de queima. O quartzo é uma impureza natural das argilas e atua como um material não plástico no sistema água/argila.

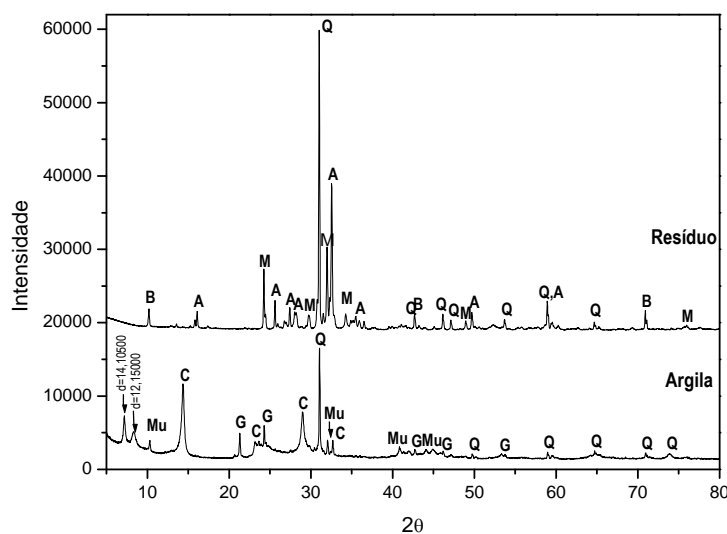


Figura 4.19. Difratograma de raios-X das matérias-primas. (Pazeto, 2008).

A Figura 4.20 ilustra a curva da distribuição do tamanho de partícula do resíduo. Foi verificado que 10% das partículas do resíduo possuem diâmetro inferior a 3,546 μm , 50% das partículas do resíduo possuem diâmetro inferior a 22,644 μm e 90% das partículas do resíduo possuem diâmetro inferior a 93,201 μm . É observado que o comportamento granulométrico do resíduo é apropriado para produção de massa cerâmica. Pequenas adições de rejeito implicariam num melhor empacotamento de partículas e provavelmente reduziria a retração na queima, quando comparado à argila pura. Aumentando-se a adição de rejeito, eventualmente a porosidade aumentaria (Pazeto, 2008).

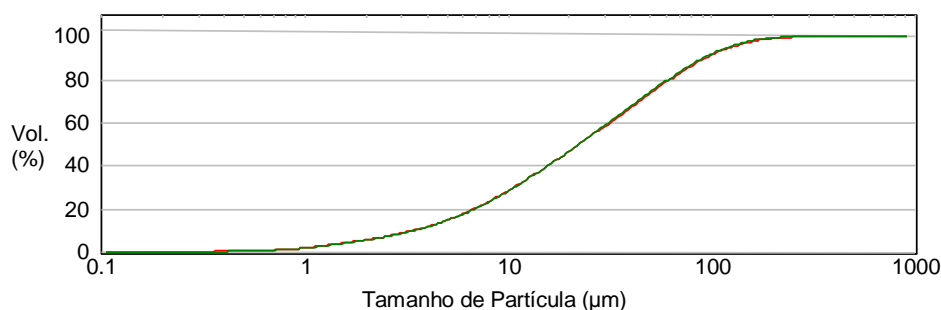


Figura 4.20. Distribuição do tamanho de partícula do resíduo

Fonte: Pazeto, 2008

A retração linear dos corpos de prova queimados é apresentada na Figura 4.21 De acordo com Pazeto, 2008; de uma forma geral, pode-se observar que a retração aumenta com o aumento da temperatura. A 900°C, a retração diminuiu com o aumento da quantidade de resíduo incorporado na massa cerâmica. À 1000°C observou-se um ligeiro aumento da retração para a composição C10R, enquanto que para as composições C20R e C30R houve uma diminuição desse parâmetro em relação à massa cerâmica sem adição. Já a 1100°C houve diminuição significativa da retração para as composições C20R e C30R em relação à massa cerâmica pura. Finalmente, a 1200°C observou-se que a retração linear diminuiu com as incorporações de até 20% de resíduo. Para C30R houve maior retração que nas outras composições com resíduo, mas ligeiramente menor que na formulação sem incorporação. É interessante ressaltar que a densidade aparente a seco dos corpos

de prova foi praticamente a mesma ($1,70 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$), portanto, as diferenças observadas nas propriedades tecnológicas das composições não foram influenciadas pela densidade a seco ou compactação da cerâmica.

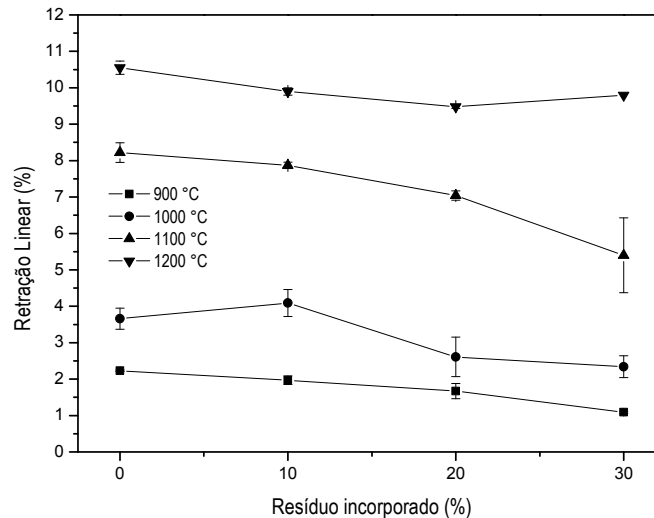


Figura 4.21. Retração linear dos corpos de prova com resíduo de granito

Fonte: Pazeto, 2008.

A Figura 4.22 apresenta a absorção de água para as composições estudadas. Pazeto, 2008 observou de forma generalizada, a absorção de água diminui com o aumento da temperatura. Pode ser visto que a 900°C, as incorporações de resíduo praticamente não influenciaram na absorção de água da massa cerâmica. Já a 1000°C, observa-se que a composição C10R apresentou menor absorção de água que a massa cerâmica sem resíduo. Para a temperatura de 1100°C, observou-se que a absorção de água aumentou com a incorporação de resíduo quando comparada à massa cerâmica sem incorporação. As composições queimadas a 1200°C apresentaram o menor valor de absorção de água, sendo que a composição C30R apresentou o menor valor dentre todas as composições estudadas. Isso está associado à ação fundente do resíduo com a formação de fase líquida, preenchendo os poros e densificando o corpo cerâmico. Portanto, esse fato é uma indicação de que a quantidade de fase líquida formada contribuiu para reduzir a porosidade.

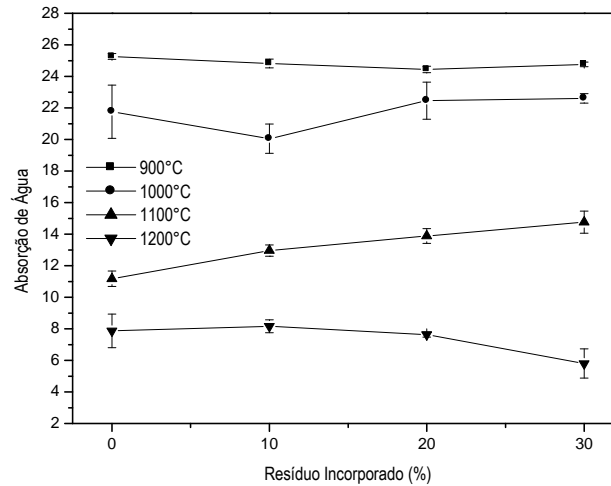


Figura 4.22. Absorção de água da cerâmica com resíduo
Fonte: Pazeto, 2008.

A morfologia das partículas do resíduo ilustrada na Figura 4.23, mostra de uma forma geral, as micrografias com partículas com ampla distribuição de tamanhos. A Figura 4.23(b) permite identificar partículas de quartzo bem delineadas, com morfologia irregular e arestas angulosas, além de aglomerados porosos. A representativa porcentagem de partículas finas contidas no resíduo pode contribuir para reduzir o aparecimento de trincas na cerâmica, através da redução de sua plasticidade, além de favorecer a dissolução de quartzo durante a etapa de queima.

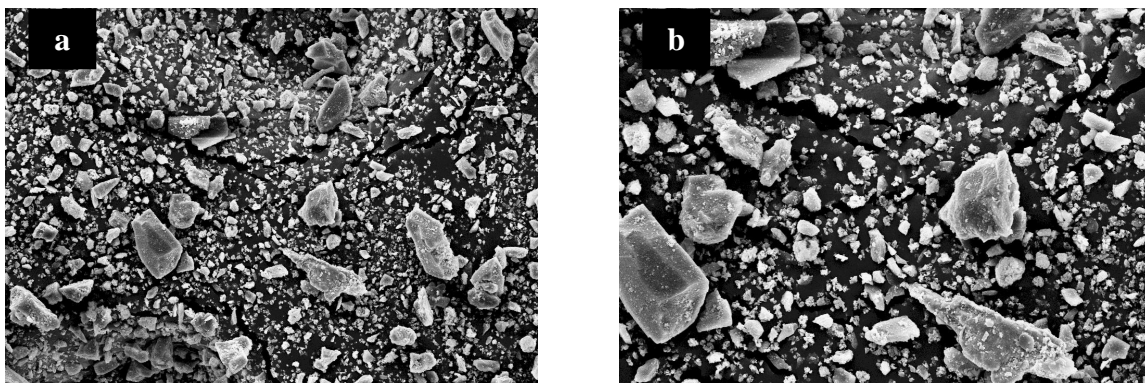


Figura 4.23. Micrografias do resíduo de granito. (a) 1000x e (b) 2000x
Fonte: Pazeto, 2008.

Através deste estudo pode-se concluir que o resíduo pode ser usado como fundente em cerâmica com grandes benefícios, podendo melhorar as propriedades tecnológicas de queima, além de trazer retorno econômico e grandes vantagens para o meio ambiente.

Borlini *et al.* 2011 estudou a aplicação de resíduo de granito sem granalha proveniente da serragem de granito em cerâmica vermelha. Este resíduo, também, é o mesmo utilizado no presente trabalho, porém, foi obtido pela tecnologia de tear convencional. A granalha deste resíduo foi retirada por meio de separação magnética, e em seguida, incorporada na cerâmica.

A Tabela 4.5 apresenta a composição química do resíduo de granito Iberê crema bordeaux, com a retirada da granalha, por meio da separação magnética.

Pode-se observar que a composição química desse resíduo difere do resíduo utilizado desse trabalho, como será mostrado a seguir na Tabela 6.1. Apesar de ser o mesmo resíduo, a influencia da tecnologia de beneficiamento influenciou na composição, mesmo que em pequenas quantidades. Mesmo a quantidade de ferro sendo baixa neste resíduo em comparação a um resíduo com granalha, a quantidade de ferro no resíduo beneficiado pela tecnologia de tear diamantado é menor.

Tabela 4.5. Composição química do resíduo de granito. (Borlini *et al.* 2011)

Composição (% em peso)											
	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	TiO₂	CaO	MgO	K₂O	Na₂O	MnO	P₂O₅	PF
Resíduo	68,61	12,89	1,97	0,09	5,59	0,23	4,26	3,4	0,06	0,05	2,86

Na Figura 4.24 é possível observar que a composição ORG está localizada fora da região de extrusão aceitável, indicando plasticidade indesejável. Com a incorporação de resíduo ocorre uma redução na plasticidade da massa argilosa, deslocando-a em direção à região de extrusão ótima. Nota-se que a utilização de 30% de resíduo na massa argilosa posiciona a mesma quase dentro da região de extrusão ótima.

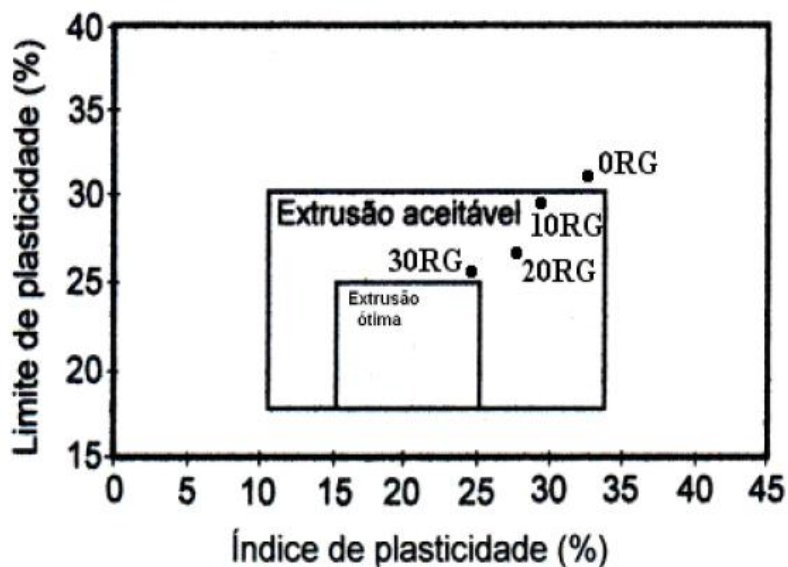


Figura 4.24. Prognóstico de extrusão através dos limites de atterberg.

(Borlini *et al.* 2011)

(●) Localização das composições.

As Figuras 4.25 e 4.26 mostram a retração linear e a absorção de água (AA), respectivamente, das composições estudadas. Todas as composições foram queimadas a 900°C. Pode-se observar que a incorporação do resíduo reduziu a retração linear e a absorção de água da massa argilosa. Observa-se ainda, que a absorção de água diminuiu de acordo com o aumento da porcentagem de resíduo incorporado na massa cerâmica, até 20% em peso de resíduo e que a composição com 30% de resíduo incorporado (30RG) apresentou valor de absorção de água similar ao da composição 20RG. Esse comportamento da massa cerâmica com resíduo ocorreu devido, possivelmente, ao aumento do grau de empacotamento da massa argilosa, bem como à redução da perda de massa durante a queima.

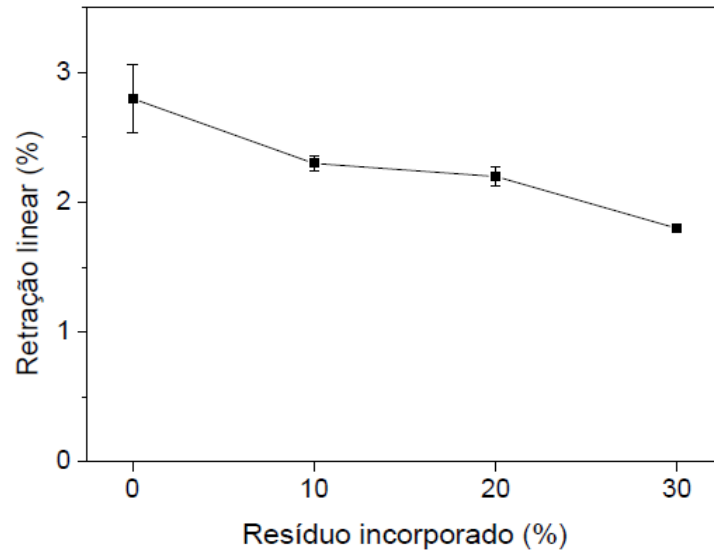


Figura 4.25. Retração linear dos corpos de prova em função da porcentagem de resíduo incorporado. (Borlini *et al.* 2011).

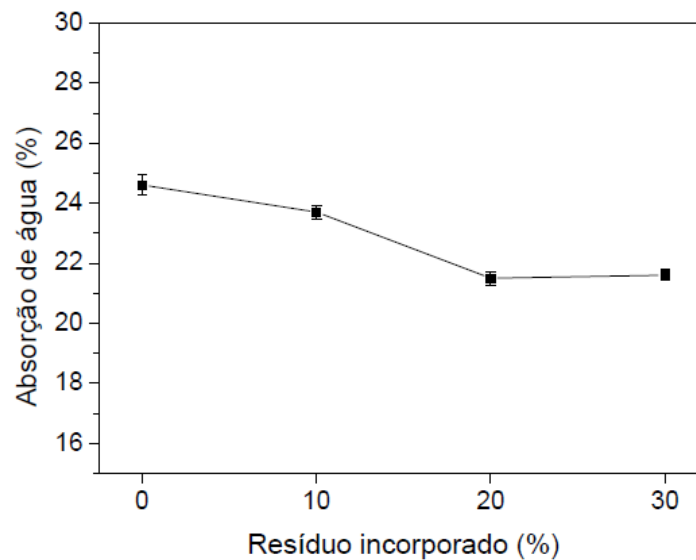


Figura 4.26. Absorção de água dos corpos de prova em função da porcentagem de resíduo incorporado. (Borlini *et al.* 2011).

A Figura 4.27 apresenta a tensão de ruptura à flexão das composições em função da porcentagem de resíduo incorporado. Observa-se que com 10% de resíduo ocorre uma redução da resistência mecânica da massa argilosa para em seguida, com 20%, voltar ao mesmo patamar, ao redor de 5,5 MPa. Já com 30% de

resíduo, a massa cerâmica volta a apresentar uma queda da tensão de ruptura à flexão. Esta variação da resistência mecânica pode estar associada à presença de defeitos inerentes à própria cerâmica e não especificamente ao resíduo, como poros e partículas de quartzo. Outra alternativa é que embora o resíduo tenha óxidos fundentes, na temperatura investigada, 900°C, o caráter inerte do quartzo, um dos principais constituintes do resíduo, tenha prevalecido com relação à fundência dos feldspatos, dificultando a consolidação das partículas. Para confirmar tal suposição uma avaliação microestrutural com auxílio de microscopia eletrônica de varredura deve ser realizada.

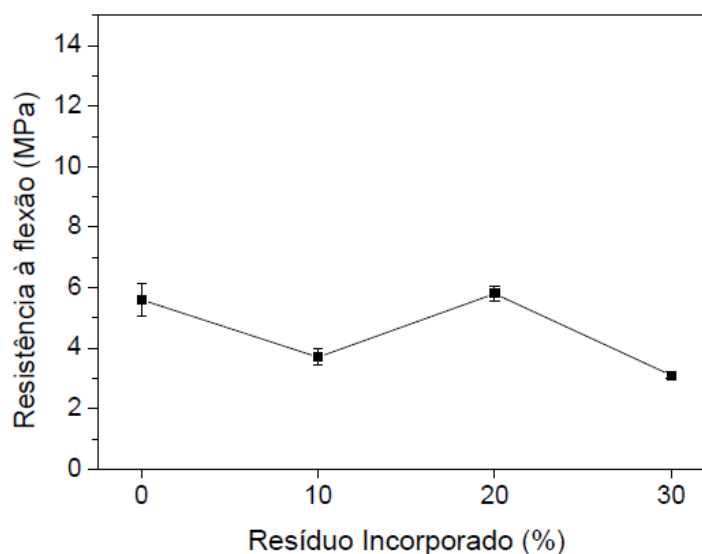


Figura 4.27. Resistência à flexão dos corpos de prova em função da porcentagem de resíduo incorporado. (Borlini et al. 2011).

Os autores concluíram que a incorporação do resíduo do beneficiamento do granito melhorou a trabalhabilidade/plasticidade da massa argilosa de cerâmica vermelha. Ocorreu ainda uma redução da absorção de água e da retração linear das cerâmicas com resíduo queimadas a 900°C, sendo que todas as composições com resíduo apresentaram valor de retração linear e absorção de água menor que da massa cerâmica. Com relação à resistência mecânica, há necessidade de um estudo mais aprofundado, mas a princípio, a incorporação de 20% em peso de

resíduo praticamente não alterou a tensão de ruptura à flexão da massa argilosa investigada.

Pode-se observar que o resíduo de granito melhora as propriedades da cerâmica. Outro fato importante mostrado na análise química é o alto teor de Fe_2O_3 encontrado no resíduo devido à presença de granalha. É ela que forma um agregado ferroso que pode acarretar sérios danos aos equipamentos da indústria cerâmica. Por isso, espera-se que com a tecnologia de tear diamantado apresentado no presente trabalho este teor de ferro seja minimizado, devido à retirada da granalha no processo de serragem, fazendo com que os produtos fabricados e a indústria cerâmica tenham vantagens na formação de novos produtos no mercado.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais e métodos que foram utilizados para realização deste trabalho. A Figura 5.1 descreve o fluxograma das etapas desenvolvidas.

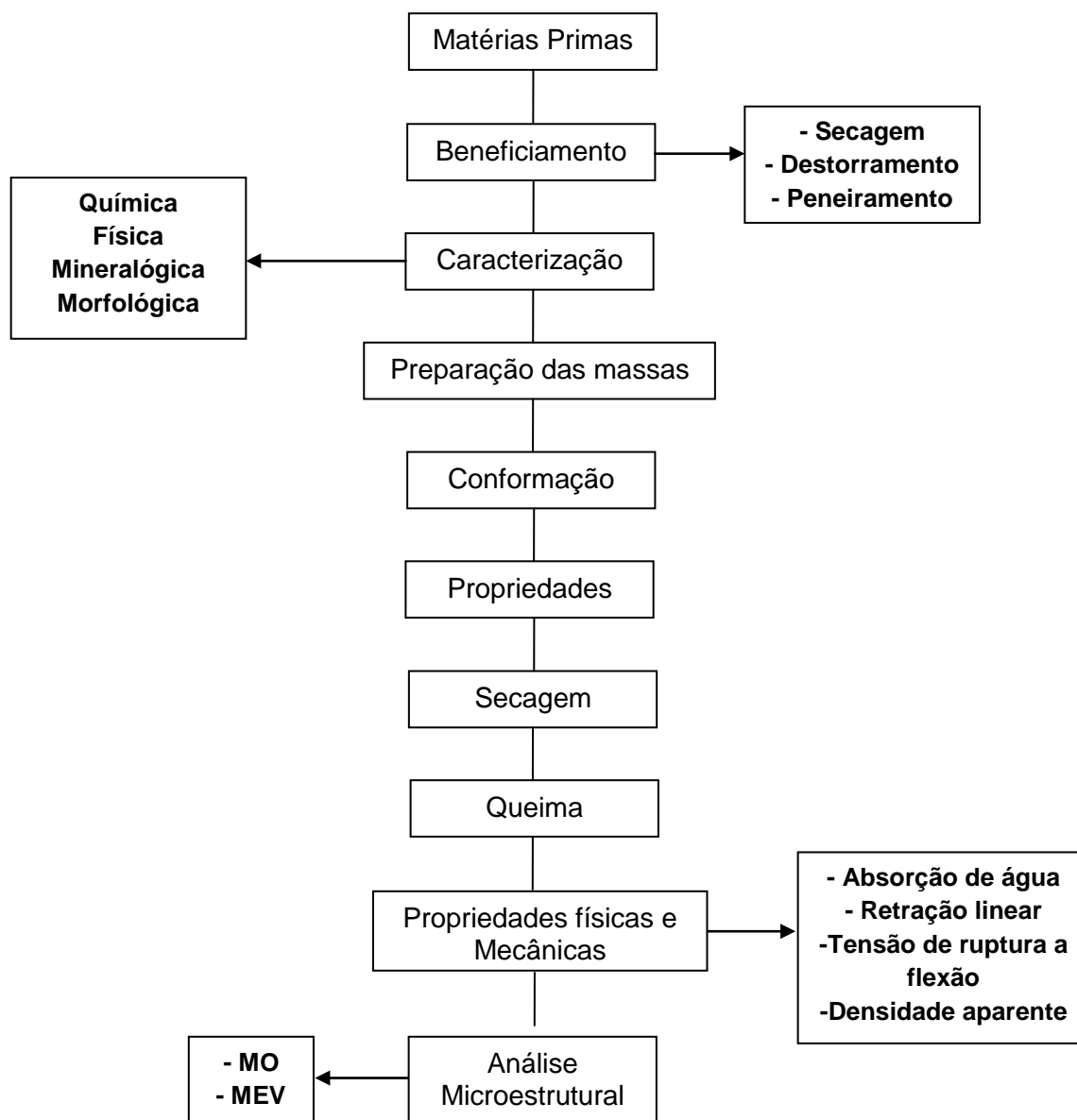


Figura 5.1 – Fluxograma esquemático do procedimento experimental.

5.1. Materiais

No presente trabalho foi utilizada como matérias-primas a argila amarela da Cerâmica Rodolfo de Azevedo Gama, de Campos dos Goytacazes-RJ e o resíduo de granito Iberê Crema Bordeaux, proveniente do processo de beneficiamento da tecnologia de tear de fio diamantado, da empresa Pemagran Pedras e Mármore LTDA (Figura 5.2), localizado no município de Cachoeiro de Itapemirim-ES. Foi utilizado também a areia para a conformação da massa cerâmica em mistura com a argila. As matérias-primas, argila e areia, foram coletadas na própria cerâmica e encaminhadas ao Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV) da Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF.



Figura 5.2. Tear de multifios diamantados. Pemagran Pedras e Mármore LTDA

5.2. Métodos

5.2.1. Beneficiamento das matérias primas

O material, argila e areia, foram coletadas na cerâmica Rodolfo Azevedo Gama e o resíduo de granito, na Pemagran Pedras e Mármore – LTDA. Após coleta, as matérias-primas foram secas em estufa de laboratório a 110°C até peso constante. Posteriormente foram desagregadas manualmente com almofariz e pistola de porcelana até passagem completa em peneira de 20 mesh (abertura de 840 µm).

5.2.2. Caracterização das matérias primas

As matérias-primas foram submetidas a ensaios de caracterização mineralógica, química e física por meio de técnicas de difração de raios-X, fluorescência de raios-X, análise térmica diferencial e termo-gravimétrica, sedimentação por peneiramento e gravimetria e dilatometria.

5.2.2.1. Caracterização Mineralógica

A caracterização mineralógica das matérias-primas foi realizada por difratometria de raios-X e ATD/TG.

5.2.2.1.1. Difração de Raios-X (DRX)

Os difratogramas de raios-X (DRX) foram realizados no Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, onde foi determinada pelo método do pó, coletado em um equipamento Bruker-AXS D5005 equipado com espelho de Goebel para feixe paralelo de raios-X, nas seguintes condições de operação: radiação Co K α (35 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de 0,02° 2 θ por passo com tempo de contagem de 1,0 segundo por passo e coletados de 5 a 80° 2 θ .

5.2.2.1.2. Análise Térmica (ATD/TG/DTG)

Foi realizada análise Térmica Diferencial e térmica gravimétrica (ATD/TG). A análise foi realizada no Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Os ensaios foram conduzidos simultaneamente em, modelo SDT2960 da TA Instrumentos.

5.2.2.2. Caracterização Química

A composição química das amostras foi realizada por espectrometria de fluorescência de raios-X, utilizando equipamento Phillips modelo PW 2400 / seqüencial da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

5.2.2.3. Caracterização Física

5.2.2.3.1. Dilatometria

A dilatometria foi realizada no SENAI/CRICIUMA-SC. Para realização do ensaio foi utilizado equipamento Misura, operando com taxa de aquecimento de 40°C/min.

5.2.2.3.2. Distribuição de tamanho de partículas

A distribuição de tamanho de partícula das matérias-primas foi obtida usando método combinado de peneiramento e sedimentação por gravimetria, de acordo com a norma técnica da ABNT NBR-7181 (ABNT, 1984a). O procedimento consiste basicamente na classificação do tamanho de partículas que ficam retidas no peneiramento grosso até 20 mesh, 2 mm e por meio de um peneiramento fino que é constituído por peneiras de 20, 40, 60, 100 até 200 mesh. A técnica de sedimentação efetuada com dispersão de 70 g da amostra em 125 ml de água com adição de 5,71 g de hexametáfosfato de sódio tamponada com 1 g de carbonato de sódio com a finalidade de desagregar as partículas. A solução é agitada durante 15 minutos e colocada em tubos de teste. O diâmetro esférico equivalente das partículas da amostra

é calculado através da lei de Stokes, na qual a velocidade determininal de sedimentação depende do tamanho de partícula e da viscosidade do fluido.

5.2.2.3.2. Plasticidade

A plasticidade foi obtida de acordo com as normas da ABNT NBR – 7180 (ABNT, 1984a) e ABNT NBR (ABNT, 1984b). O índice de plasticidade (IP) de Atterberg é dado por:

$$IP = LL - LP$$

Onde o limite de plasticidade (LP) é o teor de água, expresso em % do peso de pasta seca a 110°C, acima do qual a massa argilosa pode ser moldada em cilindros, com cerca de 3 a 4 mm de diâmetro e 15 cm de comprimento. O limite de liquidez (LL) é o teor de água expresso em % do peso de pasta seca a 110°C, acima do qual a pasta flui como líquido quando ligeiramente agitada. Esses ensaios foram realizados no laboratório de engenharia civil da UENF.

5.2.2.4. Caracterização Morfológica

A caracterização da matéria-prima resíduo de granito foi avaliada por microscopia ótica (MO).

As observações da microscopia eletrônica de varredura foram efetuadas em equipamento LEO S440 do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM.

Já as análises em MO foi realizada em microscópio MOTIC Agar Scientific do LAMAV/UENF

5.2.3. Preparação das formulações

Esta etapa consiste na formulação das composições com incorporação do resíduo de granito e areia. A areia é uma matéria-prima comumente utilizada na conformação da massa cerâmica Rodolfo de Azevedo Gama. Como o resíduo neste trabalho cumpre a função da areia, a idéia foi avaliar o comportamento da argila com a substituição total da areia pelo resíduo.

Foram preparadas composições com incorporação na massa de cerâmica vermelha nas quantidades de 0, 20, 30 e 40% de resíduo de granito e areia. A homogeneização das matérias-primas foram realizadas em moinho de bola. A Tabela 5.1 apresenta as composições estudadas.

Tabela 5.1 – Formulação das massas

Composições de formulações em massas							
Matérias-primas	AP	C20%RG	C30%RG	C40%RG	C20%A	C30%A	C40%A
Argila	100	80	70	60	80	70	60
Resíduo de granito	-	20	30	40	-	-	-
Areia	-	-	-	-	20	30	40

5.2.4. Processamento dos corpos de prova

Foram elaborados corpos-de-prova por prensagem uniaxial a 20MPa, com 8% de umidade nas dimensões 114,0X 25,0X 11,0 mm. Após a prensagem, os corpos-de-prova foram secos em estufa a 110°C por 24 horas. Os corpos de prova secos foram queimados em forno laboratorial com taxa de aquecimento de 2°C/min com temperaturas de patamar de, 750°C, 950°C e 1050°C. Os corpos de prova foram mantidos na temperatura patamar por 3 horas e resfriados por convecção natural, desligando-se o forno.

5.2.5. Ensaio físicos e mecânicos dos corpos de prova

5.2.5.1. Massa específica aparente

Para a determinação da densidade aparente das peças secas e queimadas foi utilizado o método dimensional, de acordo com a norma ASTM C 373-72 (1997). A densidade aparente é calculada utilizando a seguinte expressão:

$$\rho_{ap} = \frac{M}{V}$$

Onde ρ_{ap} é a densidade aparente da peça seca ou queimada (g/cm^3); M é a massa (g) e V é o volume (cm^3) dos corpos de prova, secos ou queimados, respectivamente.

5.2.5.2. Retração Linear de Queima

A retração linear das peças queimadas (R_L) foi determinada com o auxílio de um paquímetro digital marca MITUTOYO (resolução $\pm 0,01$ mm), através da seguinte expressão:

$$R_{Ls}(\%) = \frac{(L_c - L_s)}{L_c} 100; R_{Lq}(\%) = \frac{(L_s - L_q)}{L_s} 100$$

Onde L_c e L_s representam o comprimento do corpo de prova após conformação e secagem e L_q após a queima.

5.2.5.3. Absorção de Água

O ensaio de absorção de água foi realizado de acordo com a norma ASTM C373-72 (ASTM, 1977a). Os corpos de prova serão pesados e em seguida serão colocados em recipiente com água destilada e mantidos em água fervente por 2 horas, e resfriados submersos em água. Em seguida retira-se a água superficial de cada peça, registrando-se a massa. A absorção de água (AA) será calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$AA(\%) = \frac{(P_u - P_s)}{P_s} 100$$

Onde P_u e P_s são as massas (g) das peças saturadas em água (úmidas) e secas, respectivamente.

5.2.5.4. Tensão de Ruptura à Flexão

A tensão de ruptura à flexão em três pontos (σ) foi determinada de acordo com a norma ASTM C674-77 (ASTM, 1977b), calculada pela seguinte expressão:

$$(\sigma) = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Onde σ é a tensão de ruptura à flexão, (MPa); P é a carga aplicada no corpo de prova no momento da ruptura, (Newton); L é a distância entre os cutelos de apoio, (mm); b é a largura do corpo de prova, (mm); e d é a espessura do corpo de prova, (mm).

5.2.6. Análise microestrutural

A avaliação microestrutural das cerâmicas queimadas foram realizadas por microscopia eletrônica de varredura e microscopia ótica.

5.2.6.1. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Foi realizada análise de MEV da superfície, utilizando um microscópio LEO S440 do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM.

5.2.6.2. Microscopia Ótica

Para avaliar a superfície das amostras queimadas selecionadas foi usada microscopia ótica (MO) em microscópio MOTIC Agar-Scientific do LAMAV/UENF. A superfície da cerâmica foi preparada com lixa de número 1200 apropriada para superfícies molhadas. Depois do preparo da superfície com lixa, a amostra foi seca a temperatura ambiente.

5.2.6.3. Difração de Raios-X (DRX)

A técnica de difração de raios-X foi utilizada para determinação das fases presentes nas cerâmicas queimadas através do equipamento Bruker-AXS D5005

equipado com espelho de Goebel para feixe paralelo de raios-X. Foram submetidas aos ensaios, as amostras de 750°C (M0%, 40%RG e 40%A) e 1050°C (M0%, 40%RG e 40%A), após serem trituradas a 250 mesh.

CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Característica das matérias-primas

6.1.1. Composição Mineralógica

A Figura 6.1 apresenta o difratograma de raios-X da argila, 6.2 resíduo de granito e 6.3 da areia.

Na Figura 6.1, nota-se a presença de picos de difração correspondentes a caulinita ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), quartzo (SiO_2), gibsitita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), muscovita ($\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), goetita ($\text{FeO}(\text{OH})$) e montmorilonita ($\text{Al}_{1,67} \cdot \text{Ca}_{0,33} \cdot \text{Mg}_{0,33} \cdot (\text{SiO}_5)_2(\text{OH})_2$). As argilas de Campos dos Goytacazes apresentam a caulinita como mineral predominante e são caracterizadas por apresentarem comportamento refratário de queima (Vieira e Monteiro, 2004). A caulinita é o argilomineral presente no caulim e em muitas argilas utilizadas para a fabricação de produtos cerâmicos destinados a construção civil. Este mineral é responsável pelo desenvolvimento da plasticidade. O quartzo constitui a principal impureza presente nas argilas, atuando como matéria-prima não plástica e inerte durante a queima. A gibsitita contribui para o aumento de refratariedade das argilas e da perda de massa durante a queima. A mica muscovita é um mineral com morfologia lamelar que pode ocasionar o aparecimento de defeitos nas peças cerâmicas. Desde que apresente tamanho de partícula reduzido a mica muscovita pode atuar como fundente devido à presença de óxidos alcalinos. Na argila utilizada neste trabalho foram identificados picos de difração de baixa intensidade que indicam traços de montmorilonita nas argilas da região. A montmorilonita é um argilomineral altamente plástico e que apresenta uma grande tendência de re-hidratação, o que pode acarretar problemas no processamento.

Na Figura 6.2 foram encontrados picos de difração no resíduo de granito, correspondentes a quartzo (SiO_2), albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), microclina (KAlSi_3O_8) e biotita. $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{OH},\text{F})_2(\text{Al},\text{Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}$. O quartzo atua como mineral predominante, os demais são impurezas, que eventualmente podem até ser benéficos ao processamento cerâmico, pois os teores relativamente elevados de quartzo podem acarretar defeitos na cerâmica. (Kilikoglou, 1995). A microclina é benéfica para o processamento cerâmico, por poder se comportar como fundente durante o estágio de queima. A albita

por ser um mineral refratário pode contribuir para a diminuição de fundentes do resíduo na argila. A biotita são lâminas flexíveis que lascam-se facilmente podendo diminuir a resistência do material cerâmico incorporado com este resíduo de granito.

Na Figura 6.3 a areia apresenta picos de difração correspondentes ao quartzo (SiO_2), caulinita ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), muscovita ($\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e microclina (KAISi_3O_8). Observa-se também para a areia, o quartzo como mineral predominante e os demais impurezas. A quantidade excessiva de quartzo na areia pode acarretar defeitos na cerâmica e diminuir a resistência mecânica do material.

Estas características mineralógicas das matérias-primas investigadas indicam como principais características o caráter refratário das argilas de Campos dos Goytacazes e o comportamento inerte do resíduo de granito e areia que irá atuar como material não plástico na etapa de conformação, proporcionando maior estabilidade dimensional nas peças durante a etapa de secagem e queima.

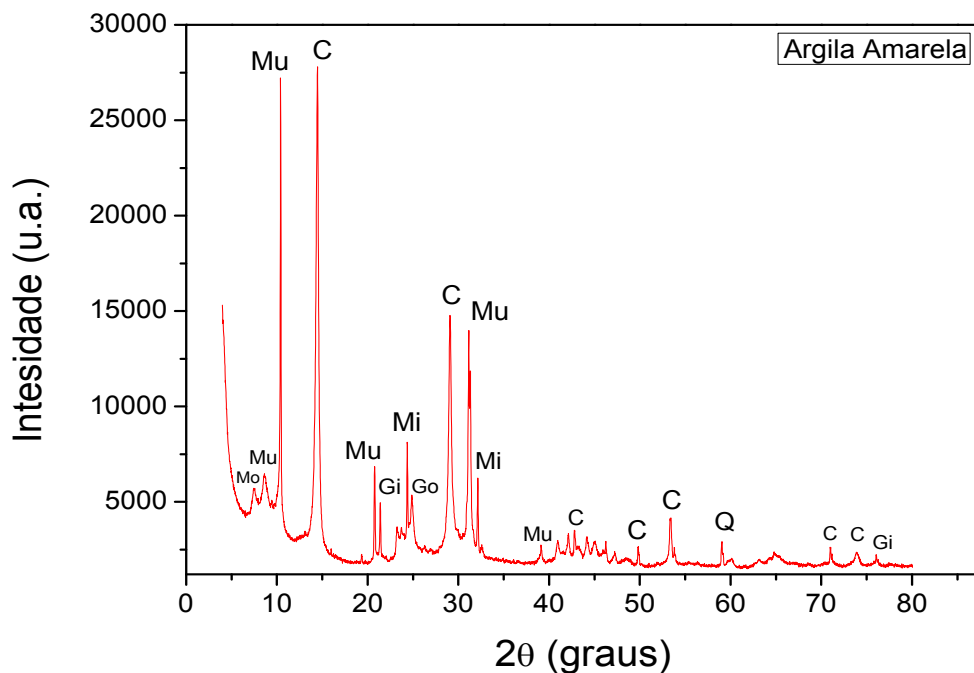


Figura 6.1. Difratograma de raios-X da argila. **C** = Caulinita; **Gi** = Gibsitita; **Go** = Goetita, **Mi** = Microclina, **Mu** = Muscovita, **Mo** = Montmorilonita **Q** = Quartzo.

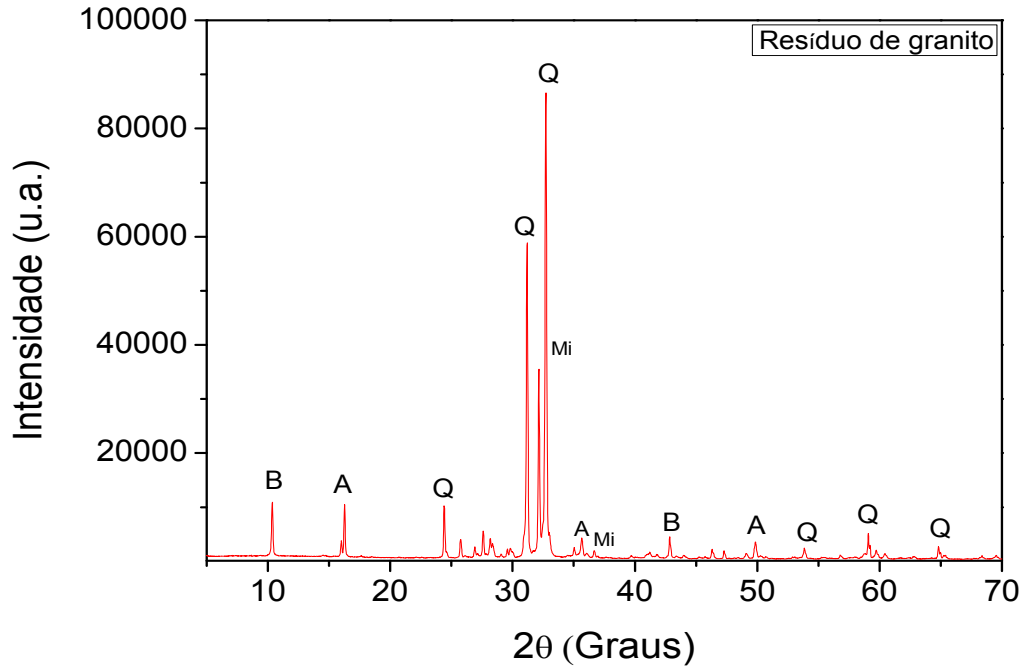


Figura 6.2. Difratoograma de raios-X do resíduo de granito. **A** = Albita, **B** = Biotita, **Mi** = Microclina, **Q** = Quartzo.

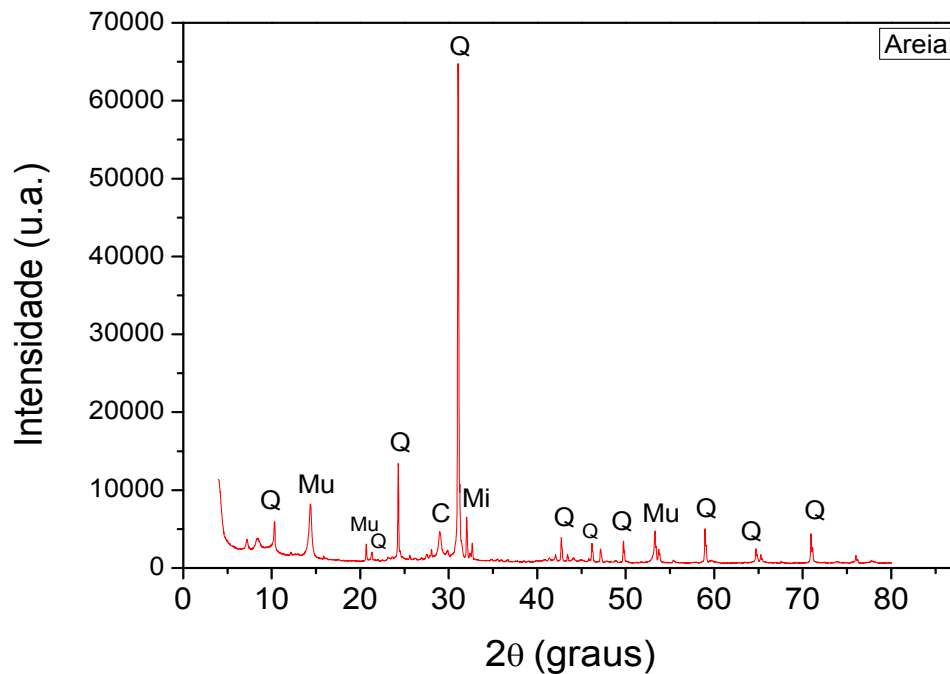


Figura 6.3. Difratoograma de raios-X da areia. **C** = Caulinita; **Mu** = muscovita; **Mi** = Microclina; **Q** = Quartzo

6.1.2.1. Composição Química

A Tabela 6.1 apresenta a composição química das matérias-primas. É possível observar que a argila é predominantemente constituída de SiO_2 e Al_2O_3 , enquanto a areia e o resíduo de granito apresenta teor bastante elevado de SiO_2 . Os óxidos de Si e Al estão na maior parte associados, formando as estruturas dos aluminosilicatos como a caulinita. A SiO_2 também está presente na forma de quartzo e a Al_2O_3 na forma de gibsitita, conforme indicam as figuras de raios-x. A elevada perda ao fogo (PF) da massa cerâmica argilosa indica a presença significativa de caulinita, que teoricamente tem perda ao fogo de 14% (Vieira, et al., 2007).

Na composição química do resíduo de granito pode-se observar quantidades significativas de óxidos alcalinos, K_2O e Na_2O , igual a 5,85% em peso, que atuam como fundentes. A baixa quantidade de 0,46% de Fe_2O_3 esta associado a não utilização da granalha no processo de beneficiamento do resíduo. No caso de fabricação de telhas claras, a incorporação desse resíduo de granito acarretaria uma coloração desejada, devido o seu baixo teor de ferro. Outra vantagem de se incorporar resíduo de granito em cerâmica argilosa com baixo teor de Fe_2O_3 são para as indústrias cerâmicas, pois a presença de granalha na lama causa um inconveniente para o aproveitamento deste resíduo, devido à formação de um agregado ferroso que pode acarretar sérios danos aos equipamentos da indústria cerâmica.

Na areia a alta perda ao fogo (PF) ocorre principalmente devido à perda de água de constituição dos argilominerais, conforme será mostrado nas curvas de ATD/TG. Além disso, a desidratação de hidróxidos e a oxidação da matéria-orgânica também estão associadas a este parâmetro para as argilas de Campos (Vieira e Monteiro, 2003).

Tabela 6.1. Composição química da argila, resíduo de granito e areia.

	Argila Amarela	Resíduo de granito	Areia
SiO₂	43,59	77,66	60,82
Al₂O₃	25,64	14,59	20,47
Fe₂O₃	10,38	0,46	4,60
TiO₂	1,55	-	1,63
ZrO₂	-	-	0,24
MnO₂	0,11	-	-
K₂O	1,63	2,58	2,21
Na₂O	-	3,27	-
CaO	0,15	0,92	0,64
MgO	0,66	-	1,20
P₂O₅	0,25	-	-
PF	15,20	0,23	8,06

6.1.3. Distribuição de tamanho de partícula

A Figura 6.4 apresenta a distribuição de tamanho de partículas das matérias-primas. Nota-se que o teor de argilomineral ou “fração argila” é de 53,8% em massa. A “fração argila” representa tamanho de partícula inferior a 2µm e confere à massa cerâmica plasticidade em mistura com água, possibilitando assim uma consistência plástica. O teor de silte, partículas com tamanhos compreendidos entre 2 a 20 µm, é de 31,2%. Já o teor de areia, que corresponde às partículas maiores que 20 µm é de 15%.

O resíduo de granito apresentou partículas inferiores a 2 µm de 0,2%, confirmando que o material não é plástico. Partículas com tamanhos compreendidos entre 2 a 20 µm de 54% e teores correspondentes às partículas maiores que 20 µm de 45,8%. Apresentou também uma granulometria fina com diâmetro no valor de 0,016. Esta característica do resíduo de granito é considerada benéfica para a cerâmica, já que possibilita uma textura mais fina nos produtos e redução dos defeitos como trincas, associadas, sobretudo, as partículas de quartzo de elevado tamanho.

A areia apresenta uma granulometria mais grosseira que a massa argilosa e com predominância (85%) de “fração areia, 0,4% de “fração argila” e 14,6% de “fração silte”. Entretanto, devido à composição mineralógica da areia investigada, outros minerais também apresentam tamanho de partícula associado à “fração areia”, sobretudo, a mica muscovita. As partículas de areia na forma de quartzo, sobretudo, a de tamanho mais grosseiro, são problemáticas para a etapa de queima da cerâmica, devido ao risco de aparecimento de trincas causadas pela transformação alotrópica do quartzo em temperaturas da ordem de 570°C (Carty & Senapati, 1998), acarretando redução da resistência mecânica das peças cerâmicas. Por outro lado, a presença de areia é importante para ajustar a trabalhabilidade/plasticidade da argila e para reduzir a retração de secagem e queima. Na cerâmica vermelha, o percentual de areia recomendada é de 15 e 30% (Facincani, 1997).

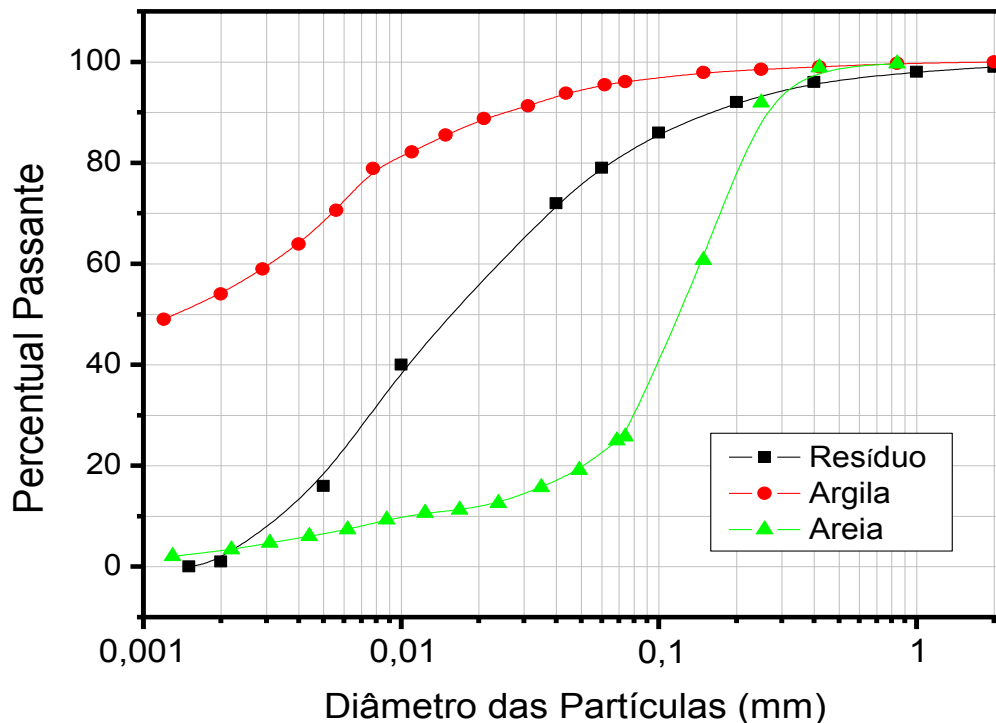


Figura 6.4. Distribuição de tamanho de partícula das matérias-primas (% em peso)

A Figura 6.5 apresenta o Diagrama de Winkler com o posicionamento das composições investigadas. Este diagrama apresenta as variações de tamanhos de

partículas, como: fração argila diâmetro $\phi < 2\mu\text{m}$; fração silte, $2\mu\text{m} < \phi < 20\mu\text{m}$; fração areia, $\phi > 20\mu\text{m}$ e quatro localizações que são denominadas: (1) área apropriada para fabricação de manilha, (2) apropriada para fabricação de telha, (3) apropriada para fabricação de blocos de vedação, (4) apropriada para tijolos maciços. Observa-se que as composições com resíduo de granito localizam-se na região I, região de difícil conformação, que necessitam de uma massa elevada com plasticidade.

Nota-se que as argilas incorporadas com a areia se enquadraram na área apropriada para fabricação de telhas. Isto significa que a “fração argila” da massa argilosa foi diminuído, o que acarretou menos água de conformação e conseqüentemente, menor retração e menos riscos de defeitos dimensionais, porém, com a diminuição dessa plasticidade, diminuiu também a resistência das peças.

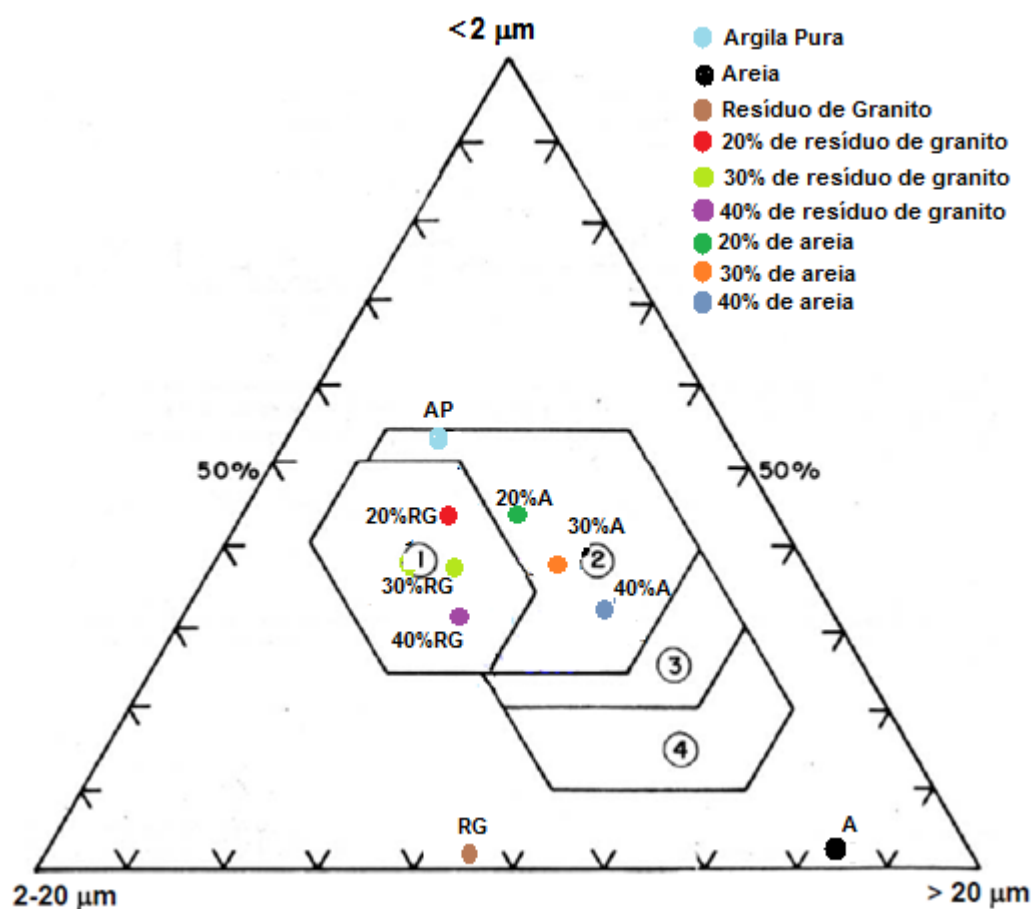


Figura 6.5. Diagrama de Winkler para classificação tecnológica das massas cerâmicas.

6.1.4. Comportamento de Queima

As Figuras 6.6, 6.7 e 6.8 apresentam as curvas de ATD/TG das matérias-primas que foram estudadas.

Observa-se que na argila (Figura 6.6) tem uma perda de massa total de 15,2%. A maior das perdas de massa, 8,9% está associada à desidroxilação da caulinita, representada por pico endotérmico a 489,3°C. A 266,3°C ocorre outra reação endotérmica devido à eliminação de água de constituição da gibsita. A 954,4°C ocorre uma suave reação exotérmica, que deve-se a decomposição da metacaulinita e a conseqüente formação de novas fases (Santos, 1989). De acordo com Vieira e Monteiro, 2003 a elevada perda de massa é típica das argilas de Campos dos Goytacazes-RJ e constitui um dos principais fatores que conferem a cerâmica após queima, elevada porosidade. Contudo, uma perda de massa típica de cerâmica com qualidade situa-se entre 5 e 7%.

No resíduo de granito (Figura 6.7) observa-se perda de massa entre 357°C e 800°C de 0,66%. Entre 588 a 800°C, a perda de massa pode ser atribuída à eliminação de água de constituição de mineral micáceo. Observa-se também um pico endotérmico a 566°C associado à transformação alotrópica do quartzo- α para o quartzo- β .

Com relação à areia (Figura 6.8), esta apresenta um comportamento térmico com significativa perda de massa, 8,4%, associada à eliminação de água higroscópica, água de hidróxidos, água de constituição de argilominerais, sobretudo, a caulinita, e água de mineral micáceo. A perda de massa de 1,4% está associada com a eliminação de água de hidróxidos, pico endotérmico a 253,6°C. A perda de massa de 6,1% é atribuída à eliminação de água dos argilominerais e do mineral, a mica muscovita. Nota-se a 575,8°C, um pequeno pico endotérmico associado à transformação alotrópica do quartzo.

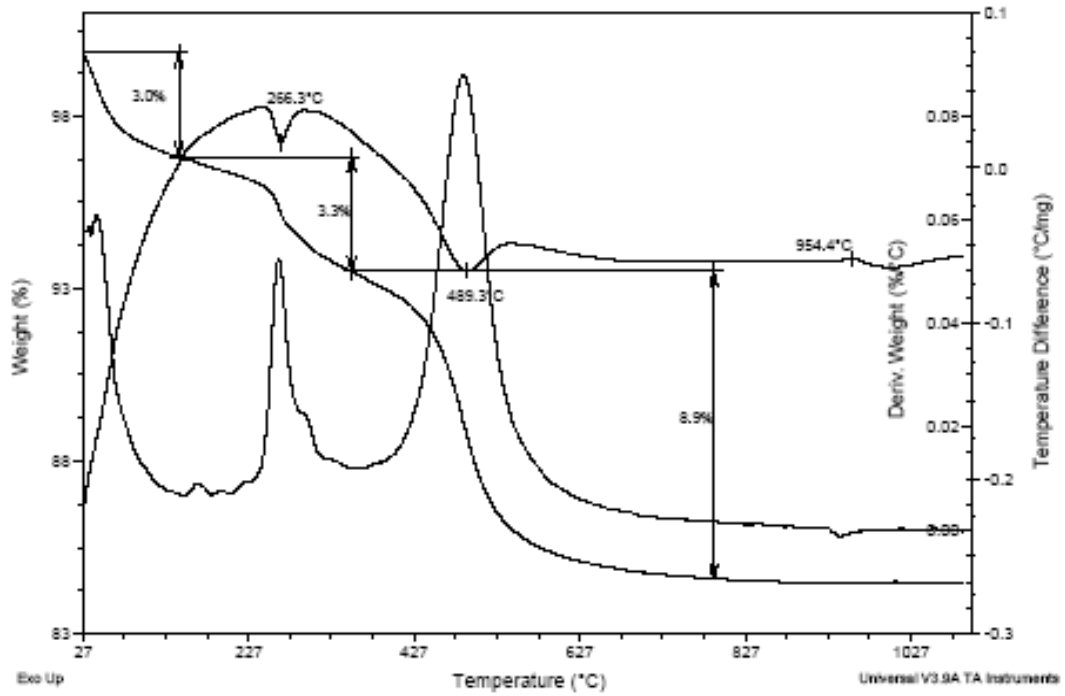


Figura 6.6. Curvas de ATD/TG/DTA da argila

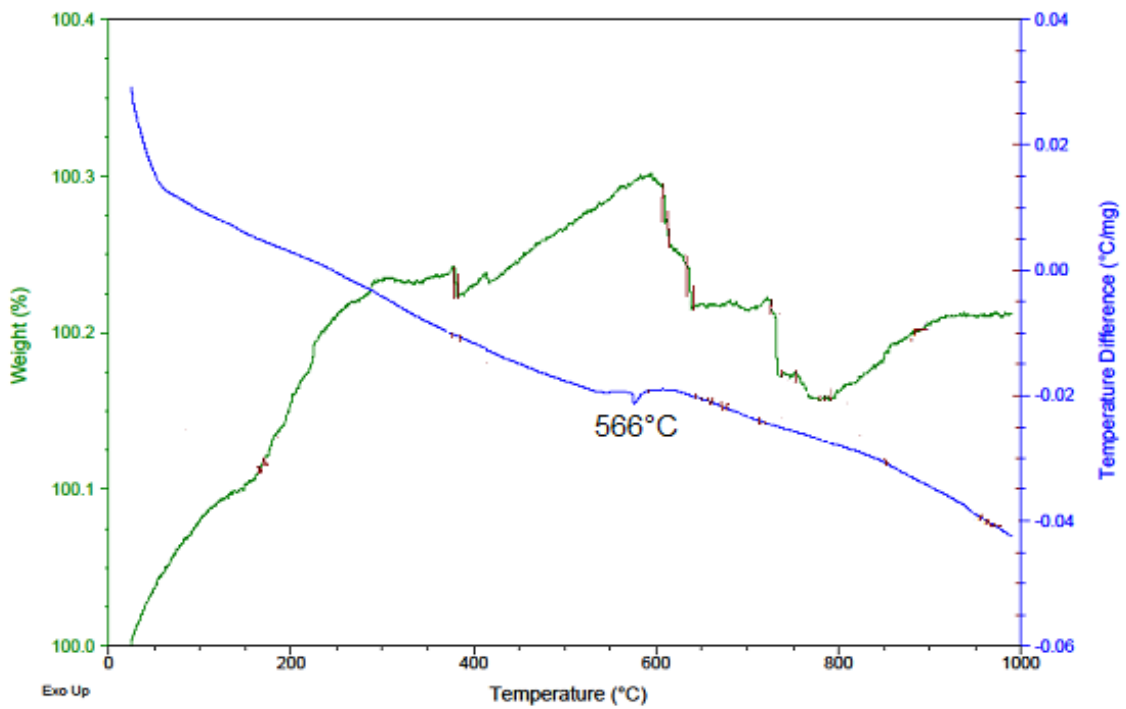


Figura 6.7. Curvas de ATD/TG do resíduo de granito

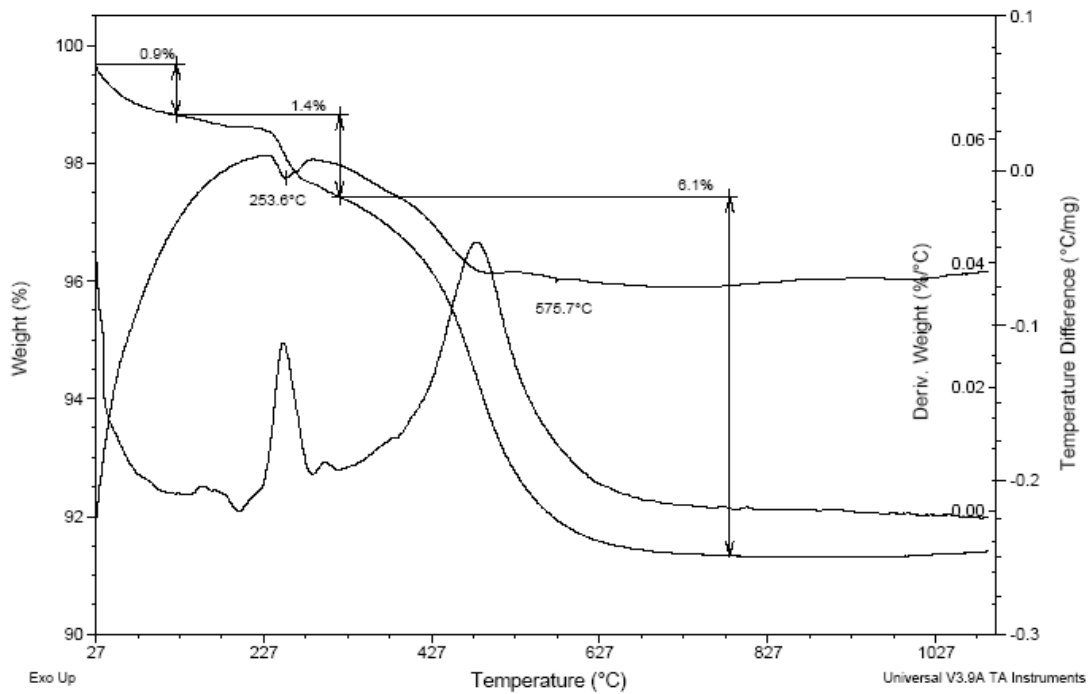


Figura 6.8. Curvas de ATD/TG da areia.

6.1.5. Dilatometria

As figuras 6.9, 6.10 e 6.11 apresentam a dilatometria da argila, resíduo de granito e areia.

Segundo Callister, 2008, quando materiais à base de argilas são aquecidos a temperaturas elevadas, ocorrem reações onde uma dessas reações é a vitrificação. A temperatura na qual a fase líquida se forma é reduzida pela adição de agentes fundentes, como o feldspato, por exemplo, que é encontrado no resíduo de granito. Essa fase fluida escoar ao redor das partículas não fundidas que permanecem no meio e preenchem os poros. Com o resfriamento, essa fase fundida forma uma matriz vítrea que resulta em um corpo denso e resistente.

Nota-se na Figura 6.9 que a maior retração e máxima taxa de sinterização em temperaturas inferior a 920,7°C e temperatura de vitrificação, onde a máxima retração ocorre a 1131,5°C. Observa-se que a 569,9°C ocorre uma contração referente à presença de quartzo na argila.

Na Figura 6.10 e 6.11 referente ao resíduo de granito e areia, observa-se que ambas apresentam comportamento semelhante, uma dilatação no ângulo da curva referente à presença de quartzo livre a 575,5°C e 575,6°C. Nota-se que acima de 1000°C ocorre uma brusca retração, isto ocorre devido a formação de fase líquida mais abundante. Este ponto indica que as amostras estão parcialmente fundidas e que o líquido irá escoar para os interstícios das partículas mais refratárias que ainda não se fundiram. Isto provoca a aproximação das partículas, o que resulta em uma retração bem significativa. Isto significa que o resíduo de entra em estado viçoso e passa a atuar no fechamento dos poros da matriz.

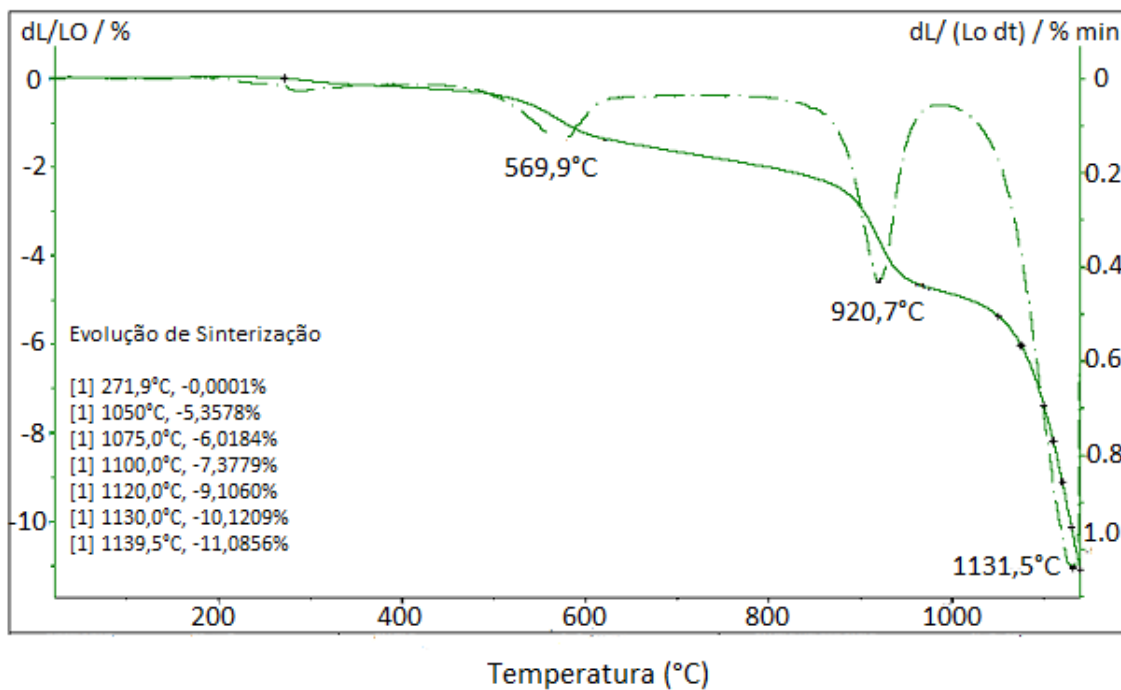


Figura 6.9. Dilatometria da argila

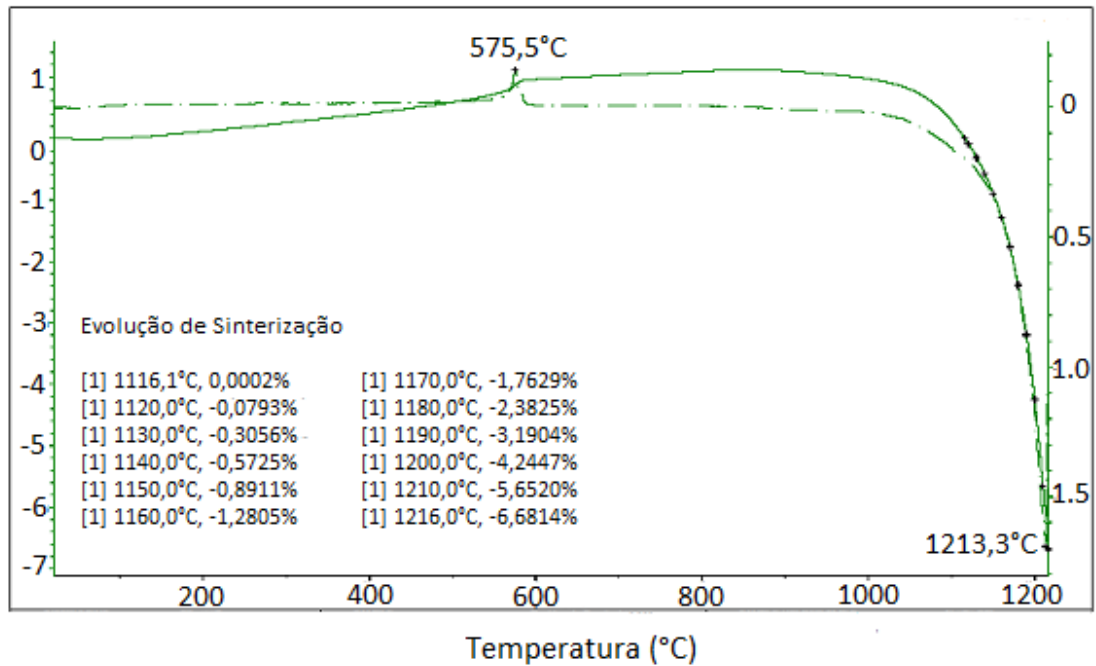


Figura 6.10. Dilatometria do resíduo de granito

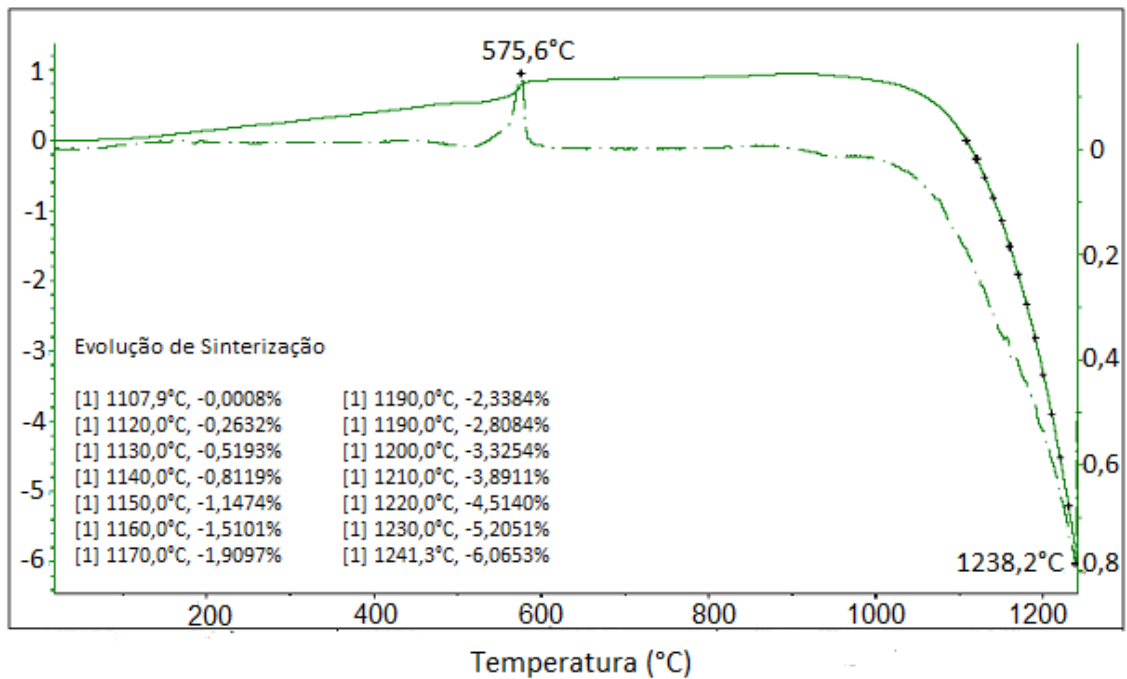


Figura 6.11 Dilatometria da areia.

6.2. Morfologia das composições

6.2.1. Caracterização do pó do granito.

A Figura 6.12 abaixo apresenta o pó do resíduo de granito obtido no microscópio ótico. Nota-se que o resíduo se encontra bastante aglomerados e com partículas finas. Nota-se também partículas pretas e avermelhadas. Essas partículas são provenientes de minerais encontrados no resíduo de granito, como a biotita e também minerais ferro-magnesianas.

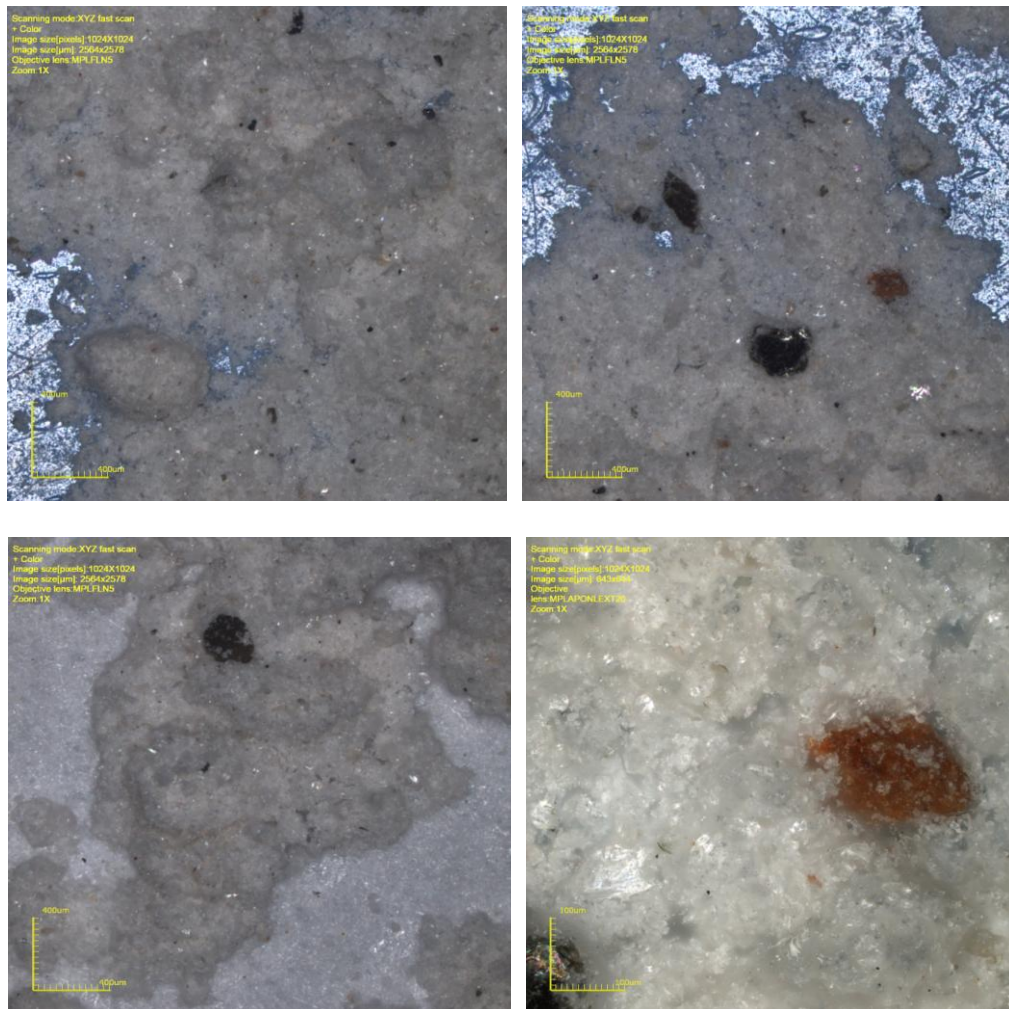


Figura 6.12. Micrografia ótica do pó do resíduo de granito com aumento de 108X.

6.2;2. MEV do pó das matérias primas.

A Figura 6.13, 6.14 e 6.15 apresentam as micrografias eletrônicas de varredura da argila, do resíduo de granito e da areia.

A Figura 6.13 apresenta partículas de tamanhos e morfologia diferentes. A Figura 6.14 evidencia o tamanho micrométrico das partículas, no qual é possível notar a presença de partículas que se destacam pelo tamanho e pela morfologia compacta e que, provavelmente, estão relacionadas a grãos de quartzo presentes no resíduo, onde mostrado pelo EDS picos de maior intensidade de (SiO_2) e também a presença de carbono, que pode está associado a presença do fio diamantado no resíduo.

A Figura 6.15 apresenta a micrografia da areia, onde pode-se observar partículas grandes e grosseiras, relacionadas a grãos quartzo que também se destacam pelo tamanho e morfologia

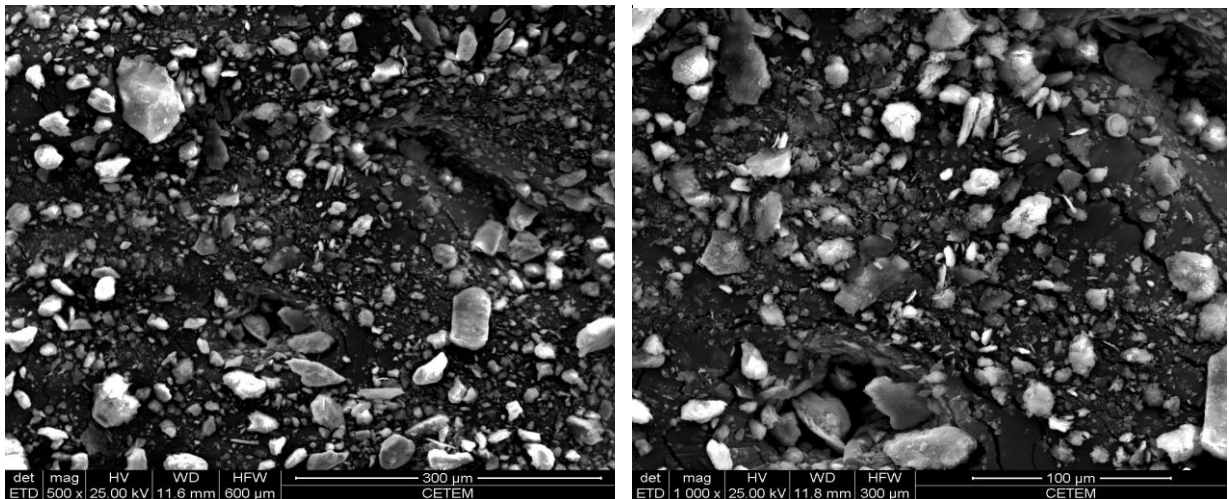


Figura 6.13. Micrografias de MEV do pó da argila com aumento de (a) 500x e (b) 1000x.

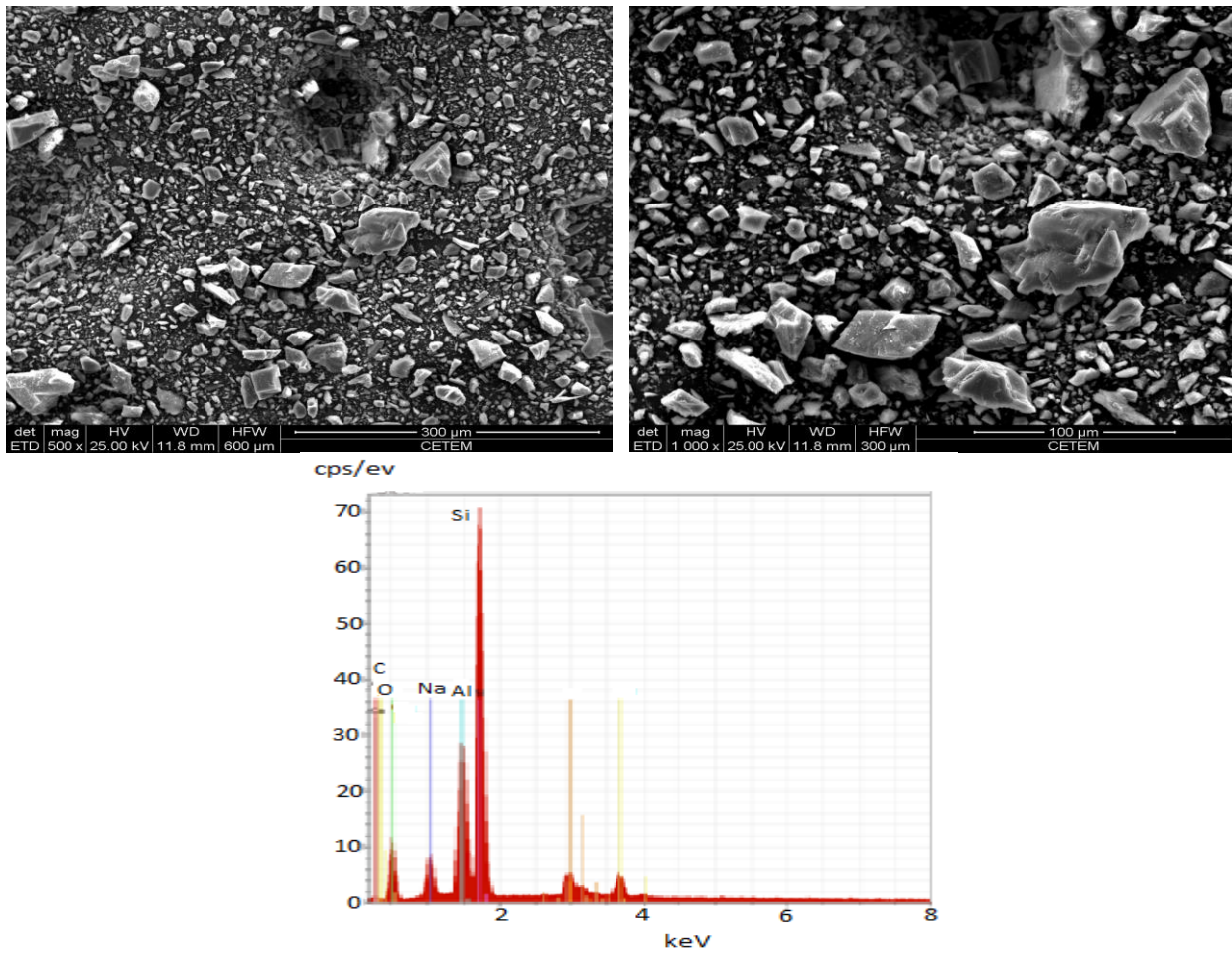


Figura 6.14. Micrografias de MEV do pó do resíduo de granito com mapeamento de EDS. Aumento de 500x e (b) 1000x.

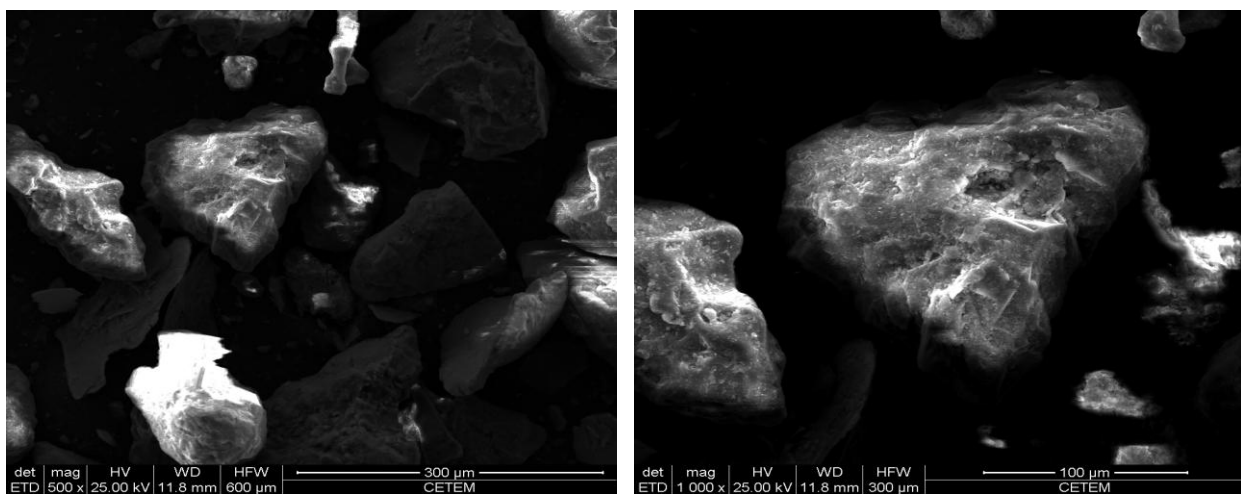


Figura 6.15. Micrografias de MEV do pó da areia com aumento de (a) 500x e (b) 1000x.

6.3. Propriedades das Composições

6.3.1. Plasticidade

A Tabela 6.2 apresenta a plasticidade das composições investigadas, determinada por meio dos limites de Atterberg. A obtenção de plasticidade em argilas é de fundamental importância para sua utilização, e baseado nesta propriedade muitos produtos cerâmicos são obtidos desde a antiguidade.

O limite de plasticidade (LP) indica a quantidade de água mínima que a argila ou massa cerâmica devem conter para serem conformadas. O limite de liquidez (LL) corresponde à máxima quantidade de água que a argila ou massa cerâmica possam conter para ainda ser moldáveis. Já o índice de plasticidade (IP) representa a diferença entre o limite de liquidez e limite de plasticidade. Ou seja, representa a quantidade de água que ainda pode ser adicionada a partir do limite de plasticidade, sem alterar o estado plástico da argila ou massa cerâmica. O índice de plasticidade considerado mínimo é de 10% (Más, E., 2002). Abaixo deste valor torna-se muito perigosa a etapa de conformação, já que há um grande risco de mudança no comportamento plástico com pequena alteração na quantidade de água utilizada.

Nota-se na Tabela 6.2 que a massa argilosa, AP (argila pura), apresenta excessivo valor de LP. Com a incorporação de resíduo de granito e areia, o LP diminui e posiciona-se dentro da região recomendada com teores de areia acima de 10%. Observa-se ainda que todas as composições apresentam índice de plasticidade (IP) superior a 10%.

Tabela 6.2. Limites de Atterberg das massas cerâmicas (%).

Massas Cerâmicas							
Plasticidade	AP	20%RG	30%RG	40%RG	20%A	30%A	40%A
LP	42	30,4	30	29,3	32,7	29,4	28,9
LL	68,3	57	49,3	46,1	56	50,7	48,8
IP	26,3	26,6	19,3	16,7	23,4	21,3	20

A Figura 6.16 apresenta um gráfico elaborado a partir dos Limites de Atterberg. A formulação com argila pura (AP) posiciona-se fora do limite no limite da região

aceitável, devido seu alto limite de plasticidade, conforme mostrado na Tabela 11. Isto é consequência da sua quantidade elevada de caulinita. A massa com 20% de resíduo de granito (20%RG) posicionou-se na linha limítrofe do limite de extrusão aceitável. As massas com 30%RG, 40%RG, 20%A, 30%A e 40%A posicionam-se em região de limite de extrusão aceitável. Isto indica que essas massas apresentam uma boa trabalhabilidade/plasticidade.

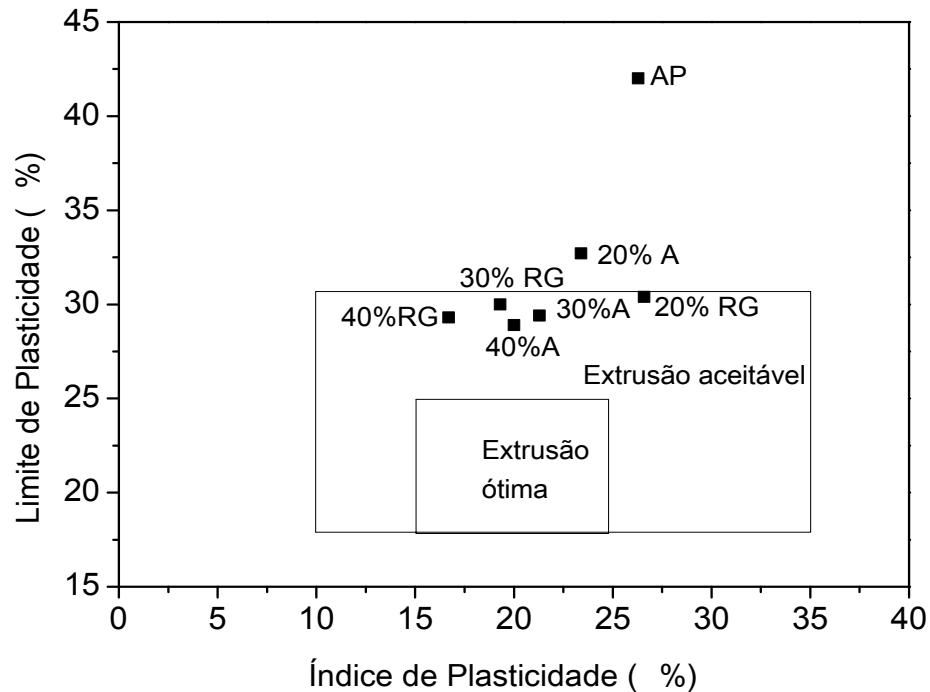


Figura 6.16. Prognóstico de extrusão através dos limites de Atterberg das massas cerâmicas.

6.4. Propriedades Físicas e Mecânicas

A Figura 6.17 mostra os valores de densidade a seco obtidos para as composições elaboradas. Esta densidade foi determinada pelo método geométrico com auxílio de paquímetro e balança. Nota-se que houve um aumento da densidade com a incorporação do resíduo de granito, melhorando o empacotamento das partículas. Com a incorporação da areia ocorreu um aumento da densidade com o aumento do resíduo incorporado, indicando um melhor empacotamento das partículas durante a etapa de

conformação. A granulometria grosseira da areia também possibilitou um melhor empacotamento dessas partículas. Isto é benéfico no sentido de reduzir a retração e ainda favorecer a consolidação das partículas durante a queima.

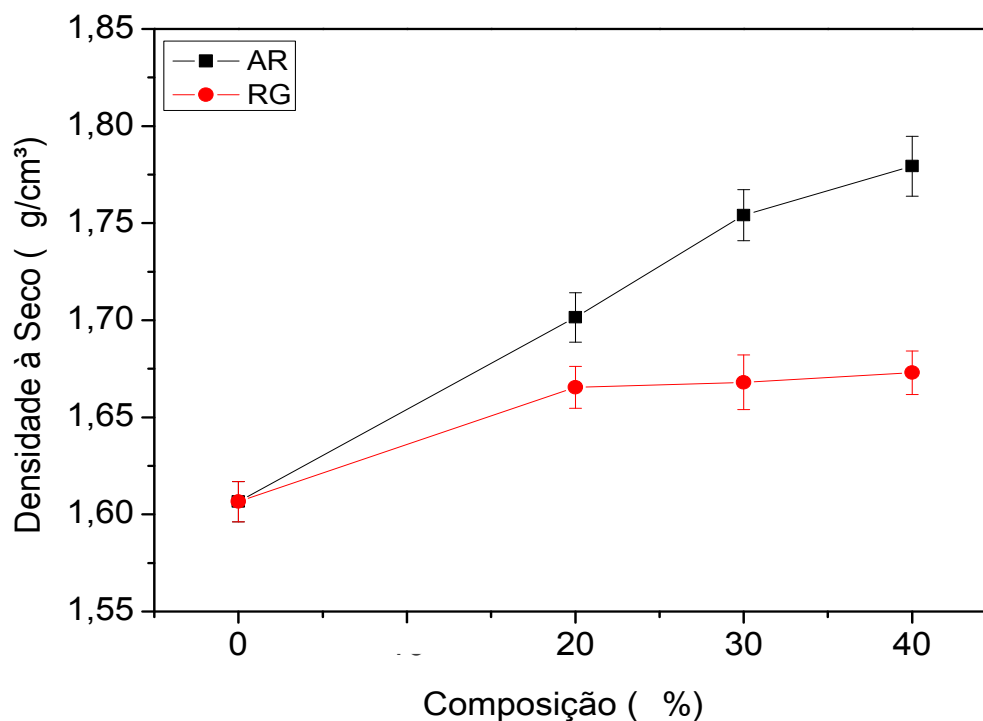


Figura 6.17. Densidade aparente a seco das composições.

De acordo com a Figura 6.18, observa-se que a densidade aparente de queima das composições apresentam valores inferiores aos observados para a densidade aparente a seco. Isto é atribuído à perda de massa que ocorre durante a queima, principalmente, devido à eliminação de água de constituição da caulinita.

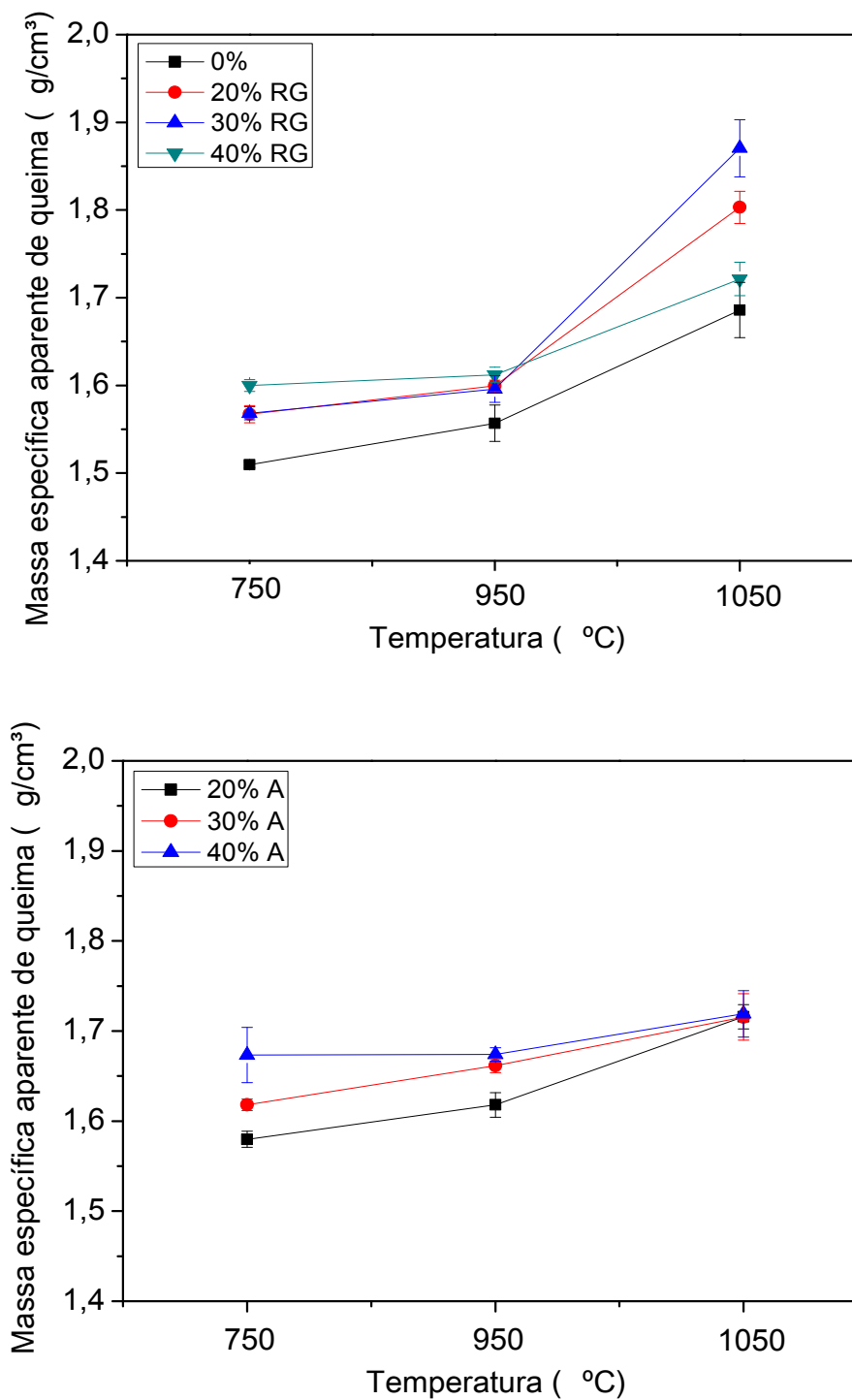
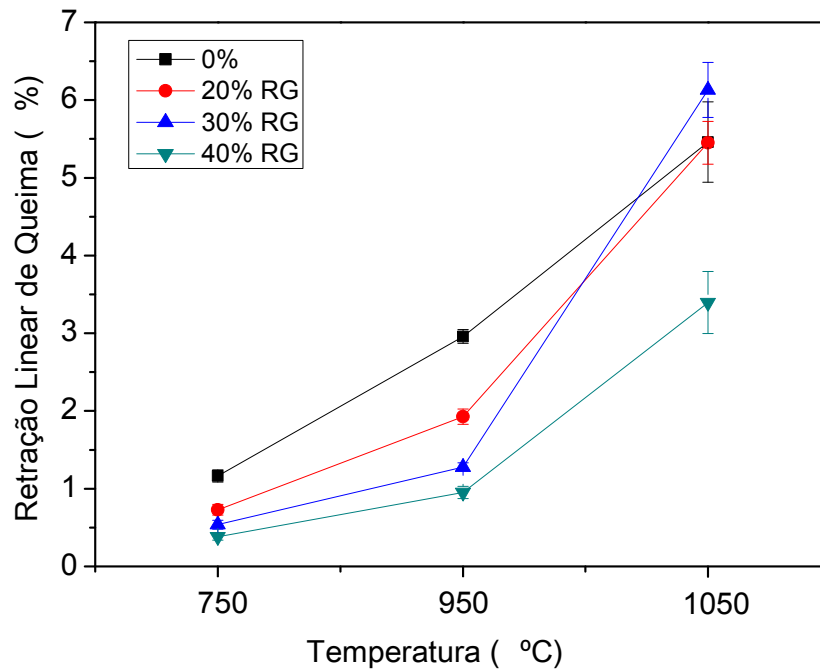


Figura 6.18. Densidade aparente de queima das composições.

A Figura 6.19 apresenta a retração linear de queima das cerâmicas queimadas. Nota-se que houve um aumento da retração linear em todas as composições, em relação às temperaturas de queimas avaliadas. Isto ocorre devido à evolução da

densificação do material e conseqüentemente diminuição da porosidade. Observa-se que na temperatura de 750°C a retração linear foi menor em todas as composições, em comparação com as demais temperaturas. Pode-se observar também que a 1050°C o aumento da retração é significativo para todas as composições. Com isso, o risco de trincas de aquecimento é também maior. Além disso, deve-se garantir uma distribuição de temperaturas bastante homogênea nos fornos para que não haja problemas dimensionais nos produtos.



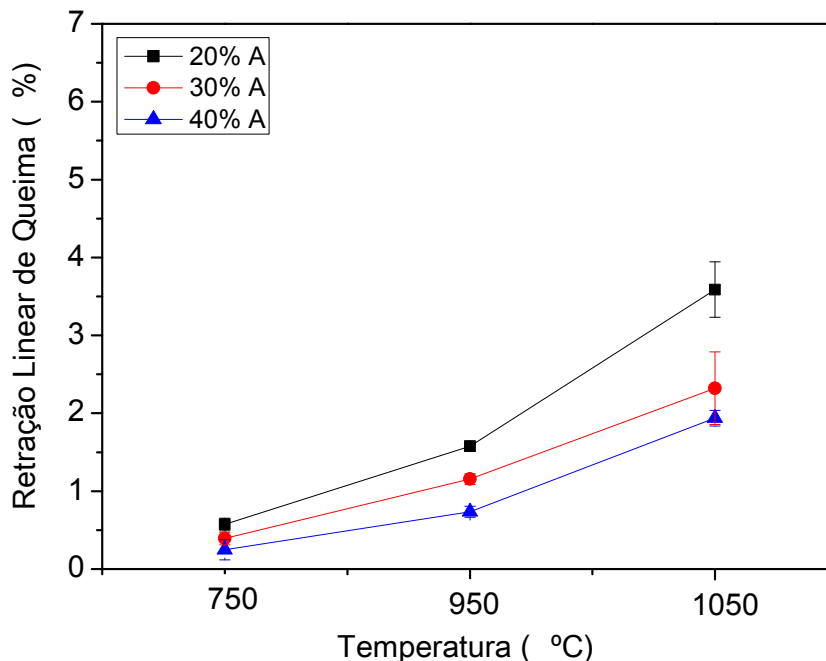


Figura 6.19. Retração linear das massas cerâmicas.

A Figura 6.20 apresenta a absorção de água das composições estudadas. Nota-se que há uma tendência de redução da absorção de água com a utilização de resíduo de granito e areia para todas as temperaturas investigadas. Isto ocorre devido à melhora de empacotamento e redução de perda de massa durante a queima. É possível observar também que a partir de 1050°C há uma redução mais acentuada na absorção de água. A redução da absorção de água com o decréscimo da porosidade ocorre como consequência das reações de sinterização. Isso está associado à ação fundente do resíduo com a formação de fase líquida, preenchendo os poros e densificando o corpo cerâmico. Portanto, esse fato é uma indicação de que a quantidade de fase líquida formada contribuiu para reduzir a porosidade. (Vieira et. al., 2004). Com o aumento da temperatura, há maior formação de fase líquida. Entretanto, como foi visto anteriormente, isto acarreta maior retração. Este comportamento evidencia o comportamento refratário das argilas cauliníticas na faixa de temperatura típica de cerâmica vermelha.

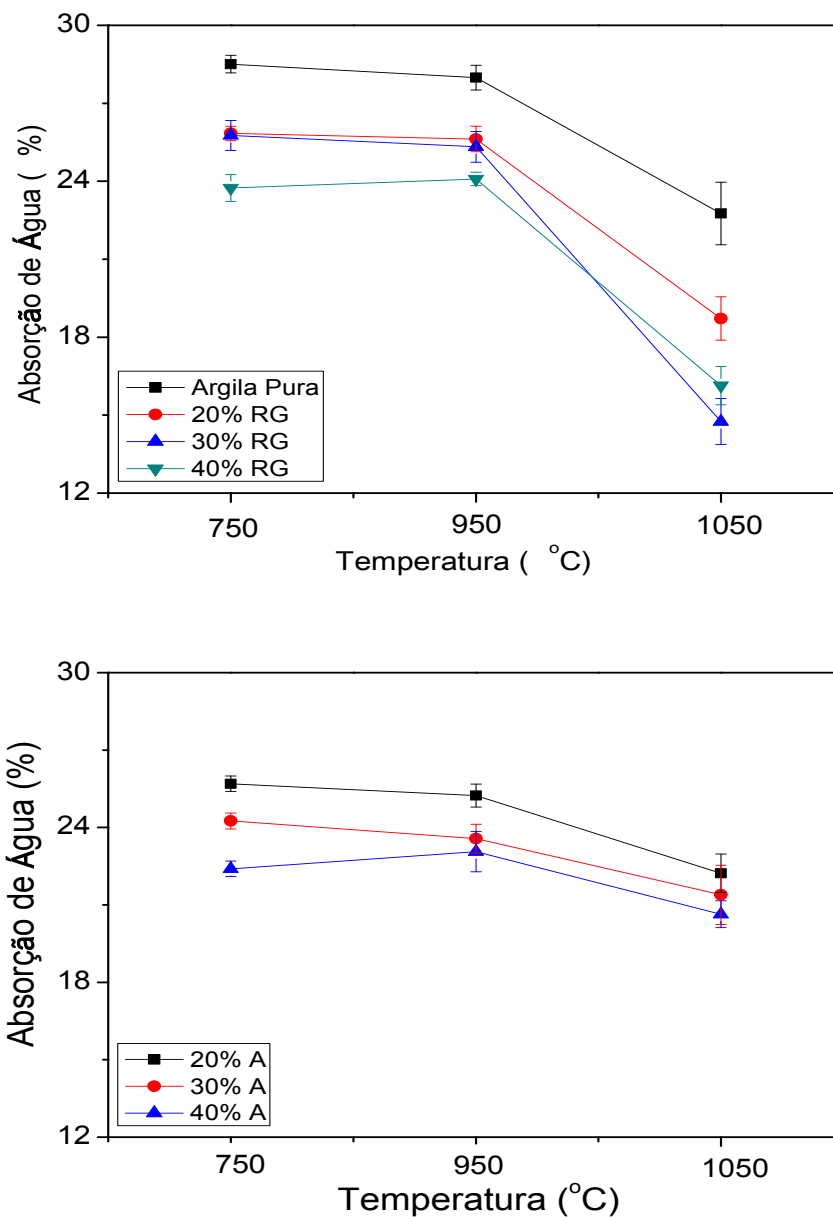


Figura 6.20. Absorção de água das massas cerâmicas.

A Figura 6.21 apresenta a tensão de ruptura a flexão das composições estudadas. Pode-se observar anteriormente que houve uma diminuição da absorção de água com a incorporação do resíduo de granito e com a areia. Devido à redução da absorção de água, era de se esperar um acréscimo na resistência a flexão da argila com adição de resíduo de granito e areia. A absorção de água está associada à porosidade aberta da cerâmica e, portanto, com características microestruturais do

interior das peças. Desta forma, outros fatores e não somente a porosidade aberta, influenciam na resistência mecânica. Outro fator que deve ter influenciado de forma bastante significativa foi o quartzo. Por apresentar um elevado ponto de fusão, o quartzo garante a integridade estrutural da peça durante a queima, onde permanece praticamente inalterado. Quando aquecido a 573°C sofre uma rápida transformação de fase, reversível, da forma quartzo α (baixa temperatura) para quartzo β (alta temperatura), acompanhado de aumento de volume de suas partículas. Durante a queima de cerâmico, no aquecimento a 573°C, há um aumento do volume do produto devido à transformação do quartzo, gerando tensões internas na peça (Riella e Zauberas, 2001). Essas tensões podem promover o aparecimento de micro-trincas devido a sua variação volumétrica a 573°C. Estas micro-trincas são conhecidas por atuar como concentradores de tensão, contribuindo para reduzir a resistência mecânica (abajo, 2000) (Kilikoglou *et al*, 1995). Os resultados indicam que os corpos cerâmicos incorporados com o resíduo de granito e areia, em termos de resistência mecânica atingiram as especificações para a fabricação de tijolos maciços (2,0 MPa) as massas: de 20%RG, 20%A e 30%A à 950°C e 20, 30 e 40%RG e 20, 30 e 40%A à 1050°C. Nos blocos cerâmicos (5,5 MPa) as massas foram: 20 e 30%RG à 1050°C e para telhas (6,5 MPa) foram: 30%RG à 1050°C.

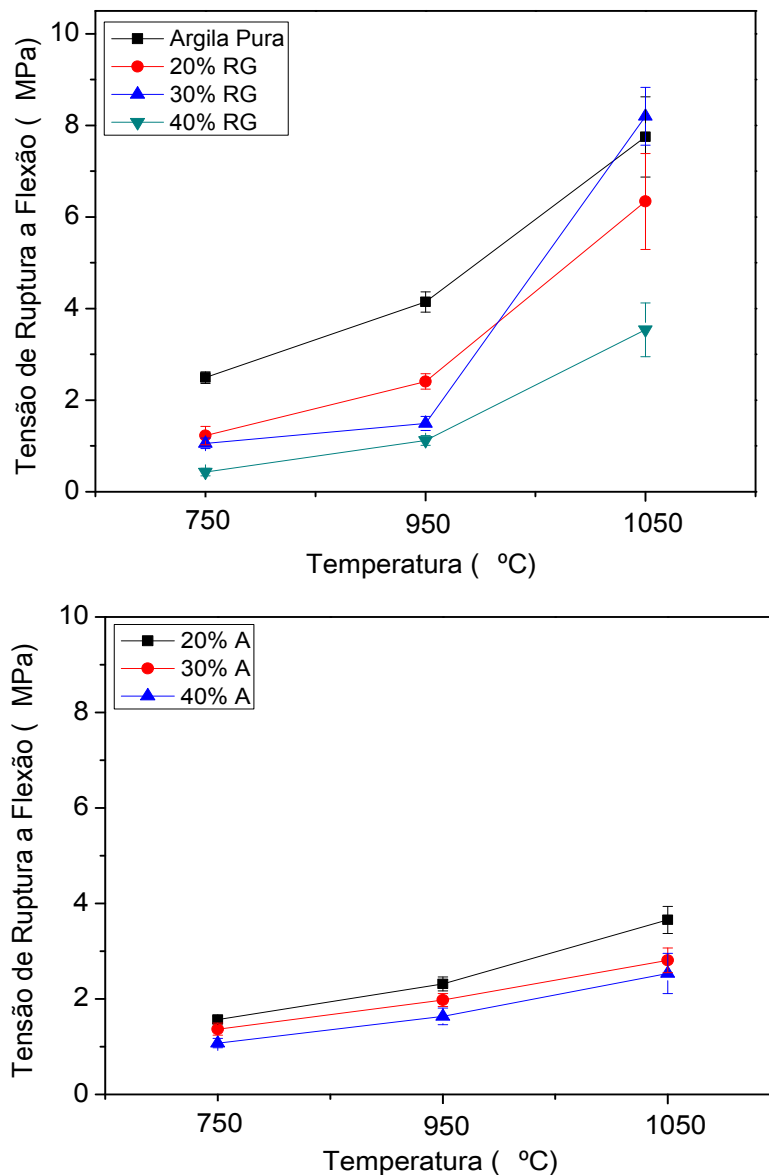


Figura 6.21. Tensão de ruptura a flexão das composições

6.5. Caracterização Microestrutural

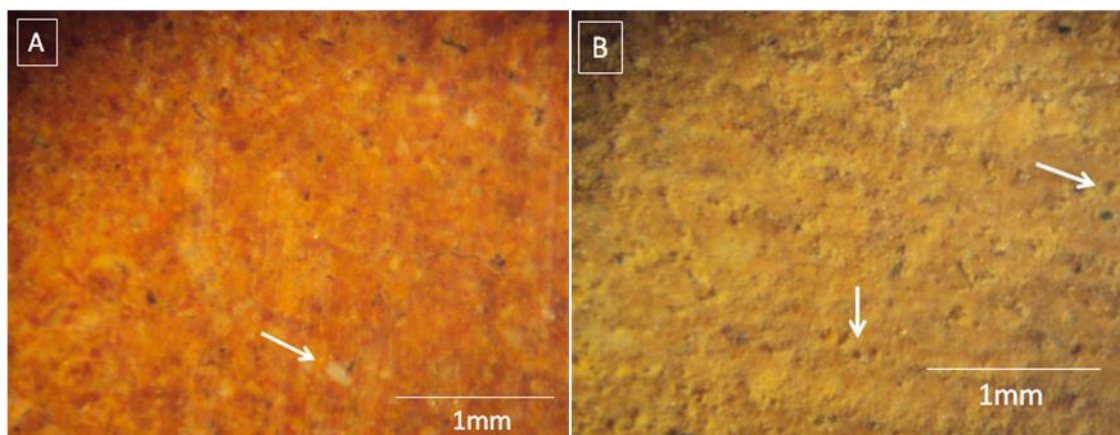
6.5.1. Caracterização das peças queimadas.

As micrografias abaixo apresentam na Figura 6.22 a temperatura correspondente a 750°C, Figura 6.23, 950°C e Figura 6.24 a 1050°C, que mostram as composições de argila pura e argila incorporada com resíduo de granito e areia. Pode-se observar que

as massas cerâmicas apresentaram partículas de quartzo e apresentam uma cor avermelhada que é predominante das cerâmicas devido à presença de compostos de ferro, cerca de 10,38%, conforme indicado na composição química. As argilas apresentam também partículas avermelhadas, possivelmente hematita, proveniente da desidratação do hidróxido de ferro, goetita, comum nas argilas de Campos dos Goytacazes-RJ (Vieira e Monteiro, 2002).

Observa-se, que a massa cerâmica incorporada com o resíduo de granito para todas as temperaturas apresentam aglomerados do resíduo, apontados pela seta. Isto significa que as partículas não se fundiram totalmente. O resíduo de granito atua como fundente durante a etapa de queima devido à quantidade significativa de óxidos alcalinos, podendo contribuir com a formação de fase líquida, preenchendo os poros e densificando o corpo cerâmico.

Pode-se observar também, que as massas incorporadas com areia apresentaram porosidade e grande quantidade de quartzo mostrados pelas setas e as partículas escuras de formato lamelar são correspondentes a mica muscovita.



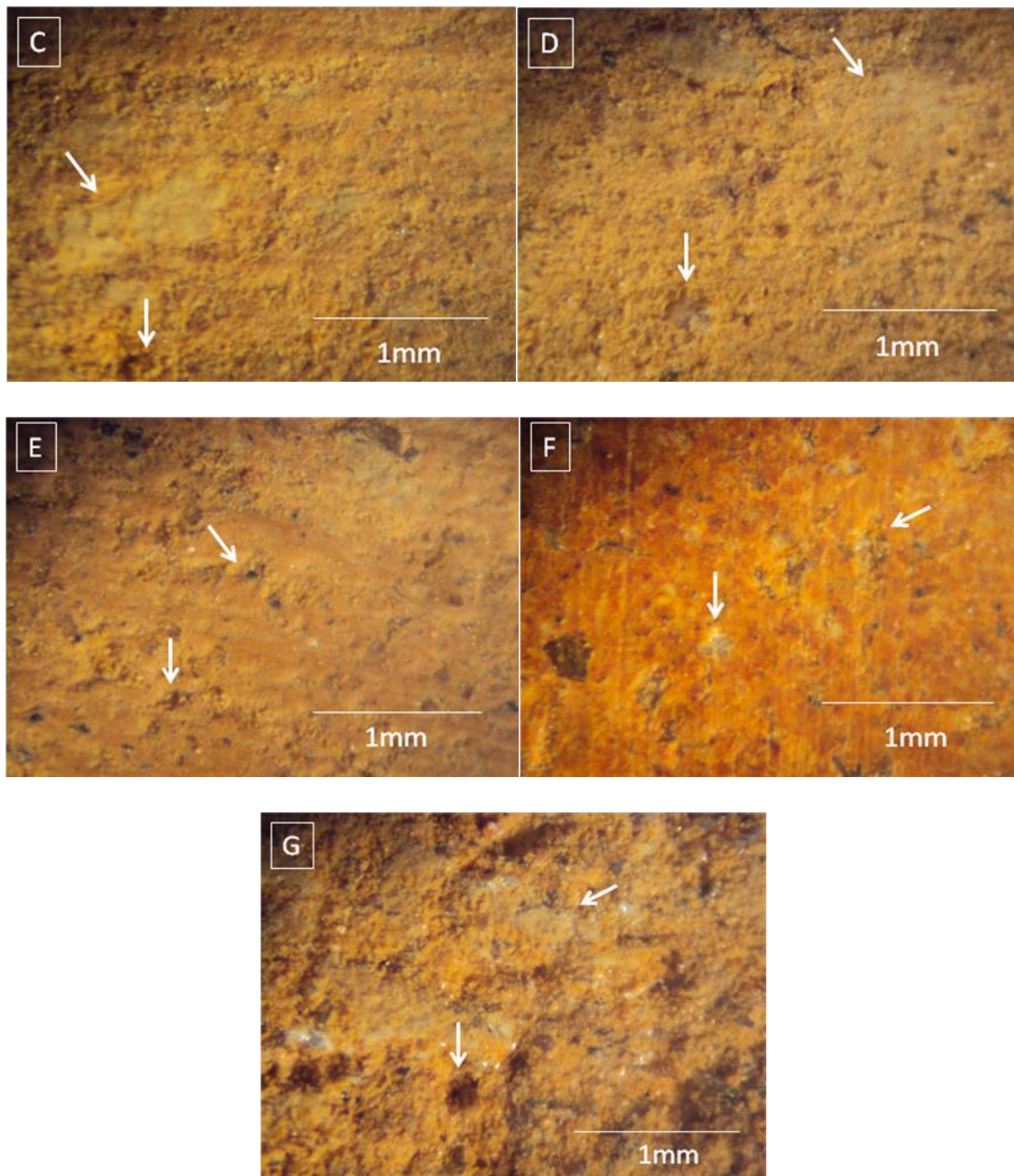
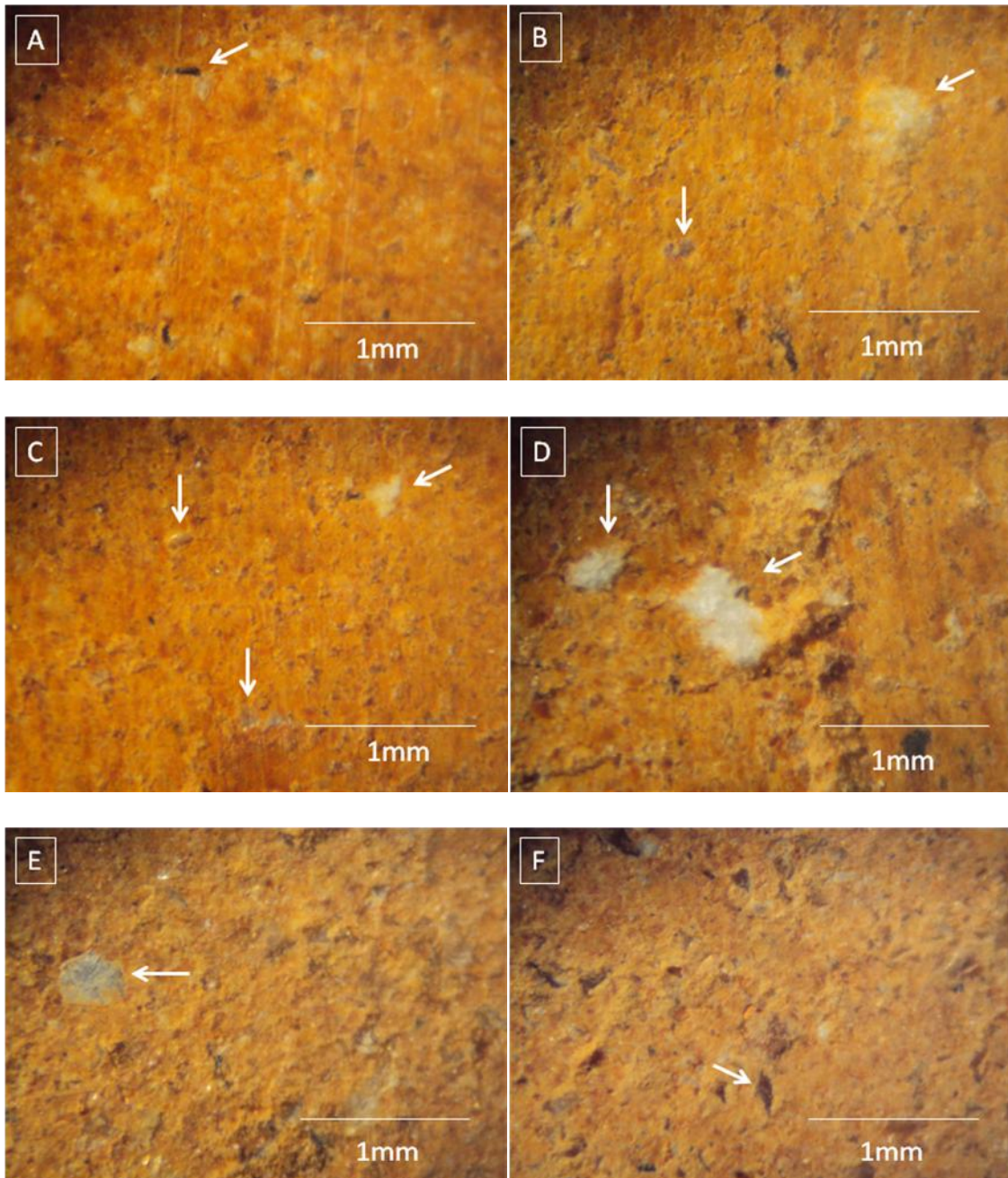


Figura 6.22. Micrografias óticas das massas cerâmicas na temperatura de 750°C. (a) argila pura, (b) 20%RG, (c) 30% RG, (d) 40%RG, (e) 20% A, (f) 30% A, (g) 40%A



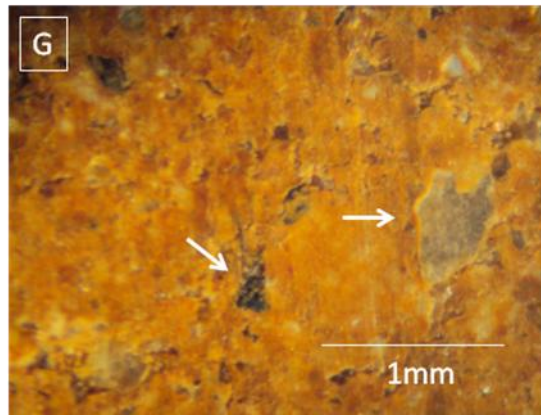
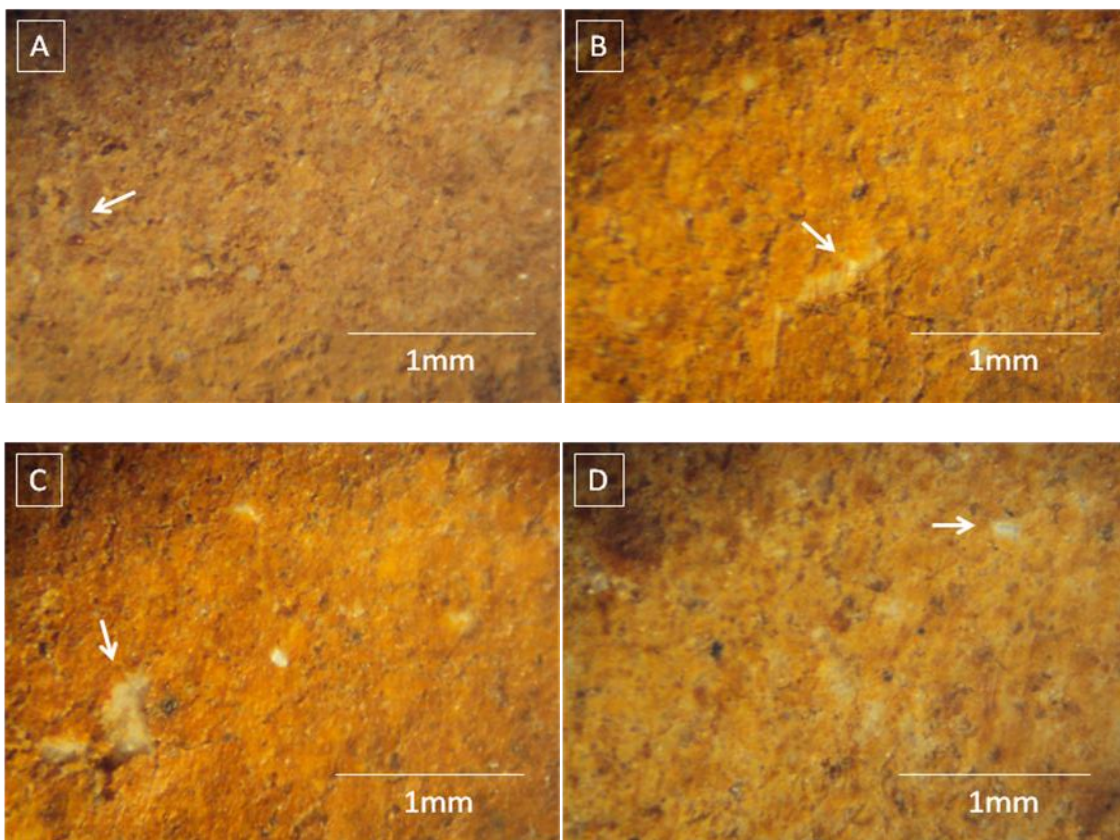


Figura 6.23. Micrografias óticas das massas cerâmicas na temperatura de 950°C. (a) argila pura, (b) 20% RG, (c) 30%RG, (d) 40% RG, (e) 20%A, (f) 30%A, (g) 40%A.



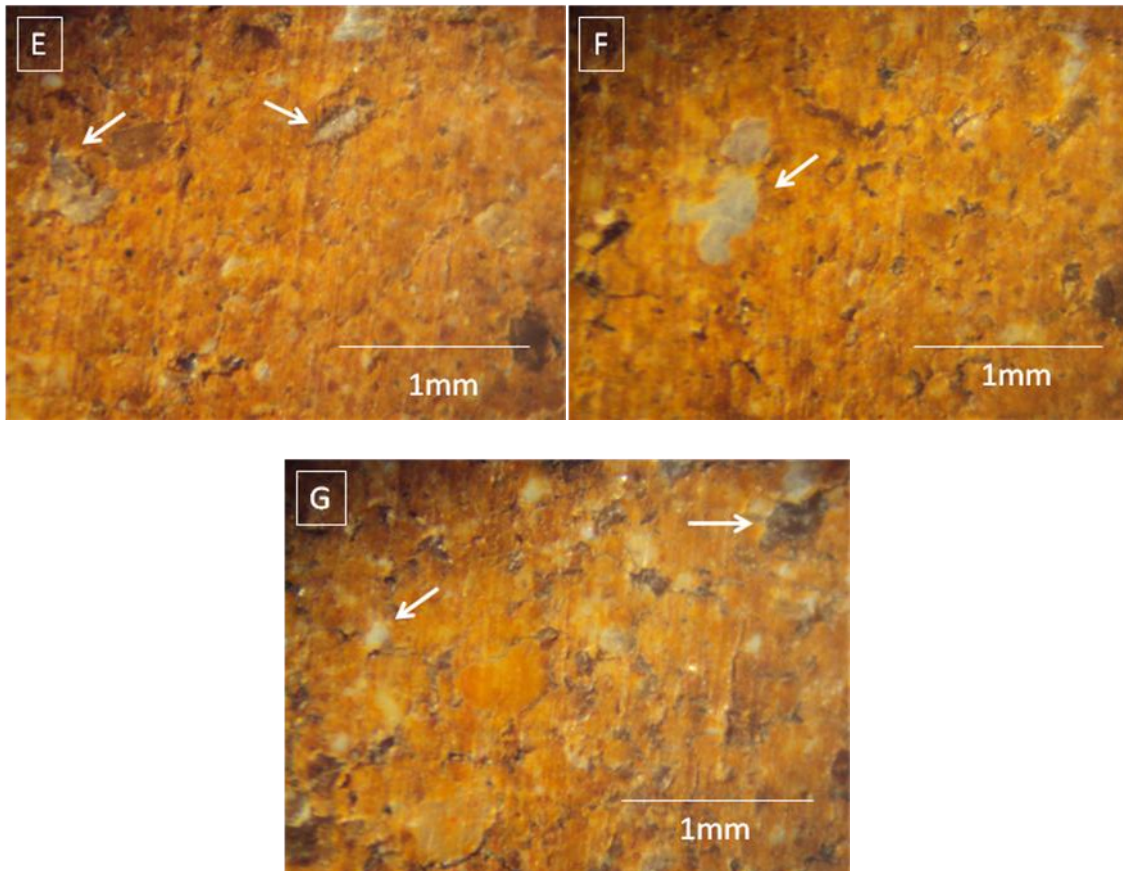
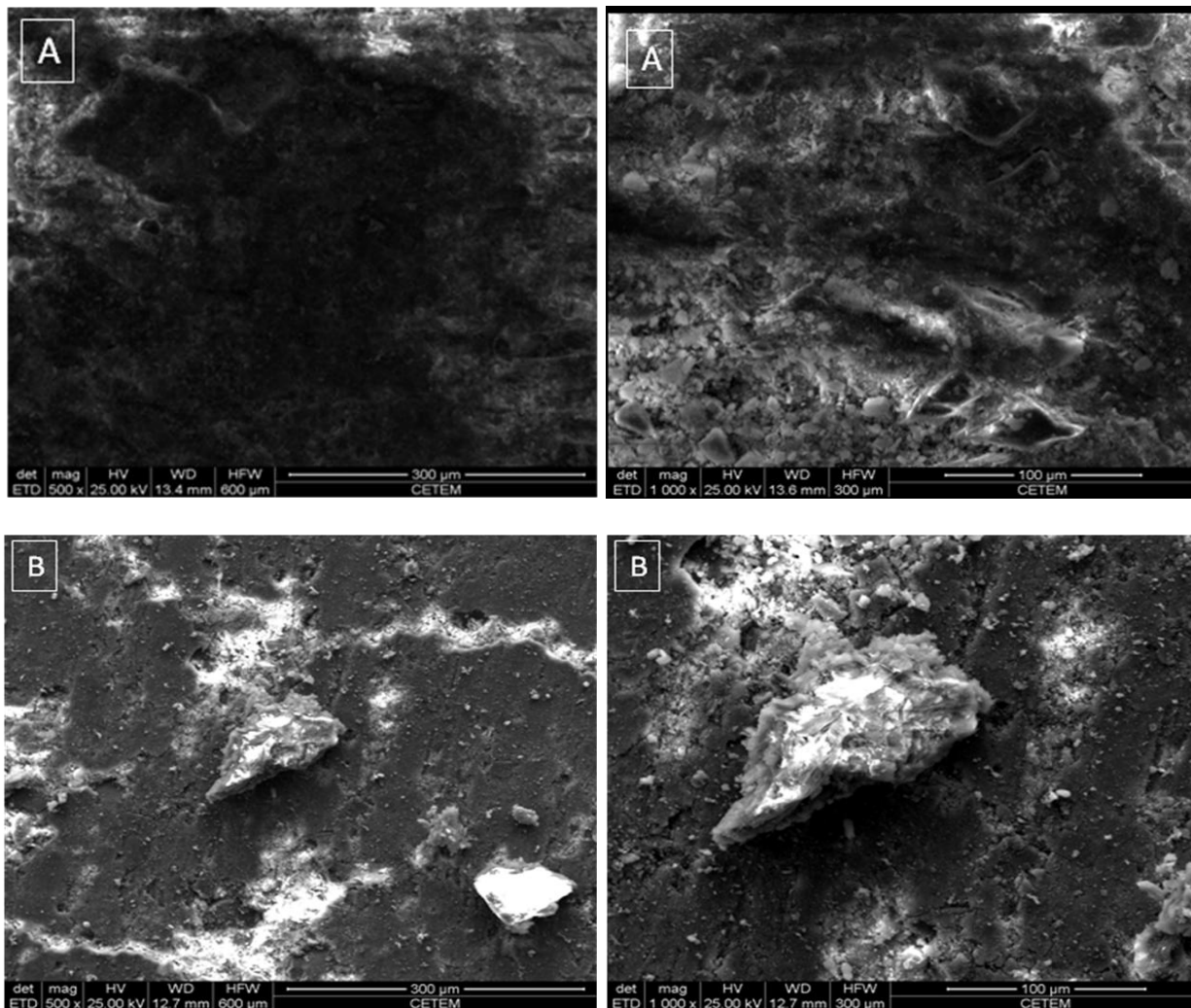


Figura 6.24. Micrografias óticas das massas cerâmicas na temperatura de 1050°C. (a) argila pura, (b) 20% RG, (c) 30%RG, (d) 40% RG, (e) 20%A, (f) 30%A, (g) 40%A.

6.5.2. MEV das composições formuladas.

A Figura 6.25 apresenta a micrografia de MEV da superfície das composições 0%, 40%RG e 40%A queimadas a 750°C, respectivamente. É possível observar nas composições uma textura rugosa e microestrutura porosa. Estas características microestruturais são típicas de cerâmica argilosa caulinítica queimadas nesta faixa de temperatura. A formação de fase líquida principal mecanismo para a consolidação microestrutural da cerâmica argilosa, ainda não é o suficiente para eliminar a porosidade aberta. Além disso, o caráter refratário das argilas de Campos dos Goytacazes dificulta ainda mais a redução da porosidade. A composição com 40% de RG no mapeamento de EDS apresentou picos de K, Fe, Na, Si e Al. A partícula mais evidente na figura indica partículas de quartzo (Si) conforme encontrado no EDS. O

potássio pode estar associado à mica muscovita. São constituídas também de Si e Al, formando matriz amorfa de aluminossilicato.



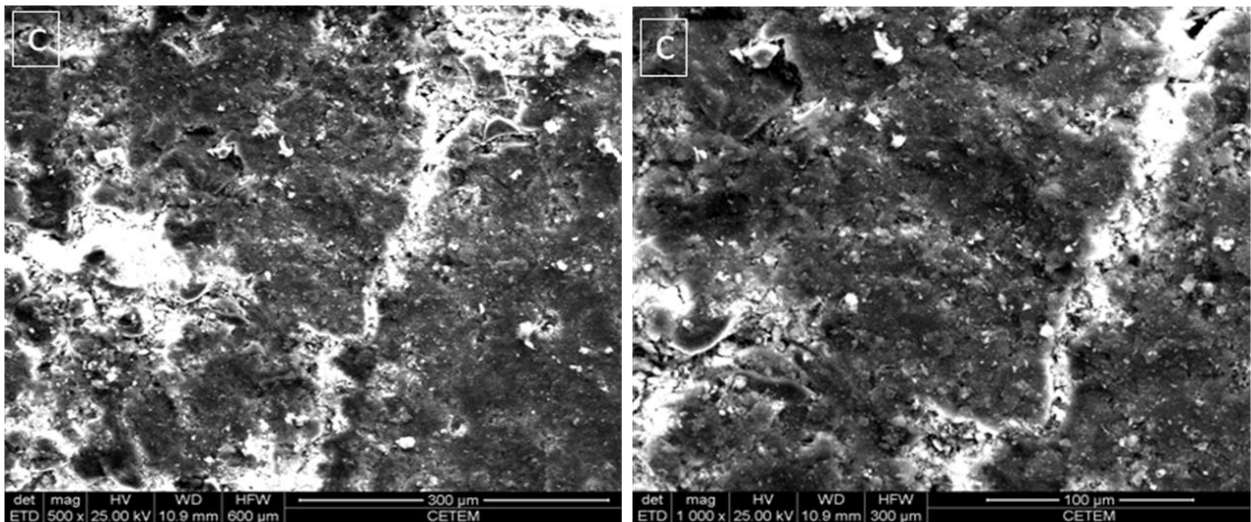
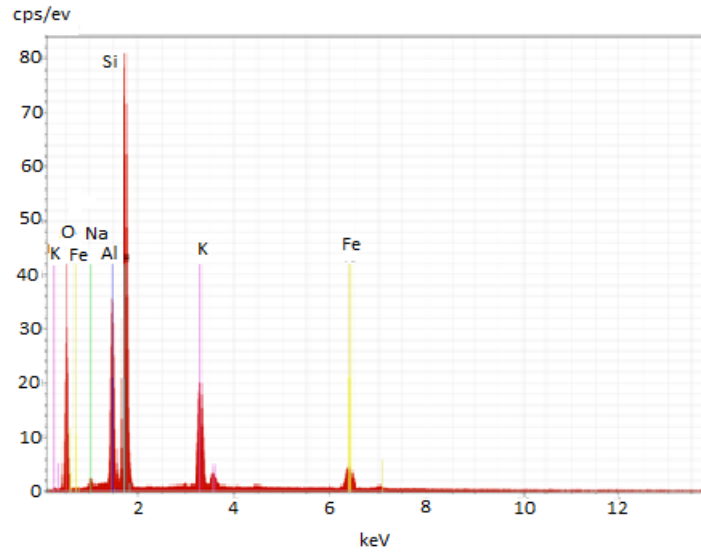
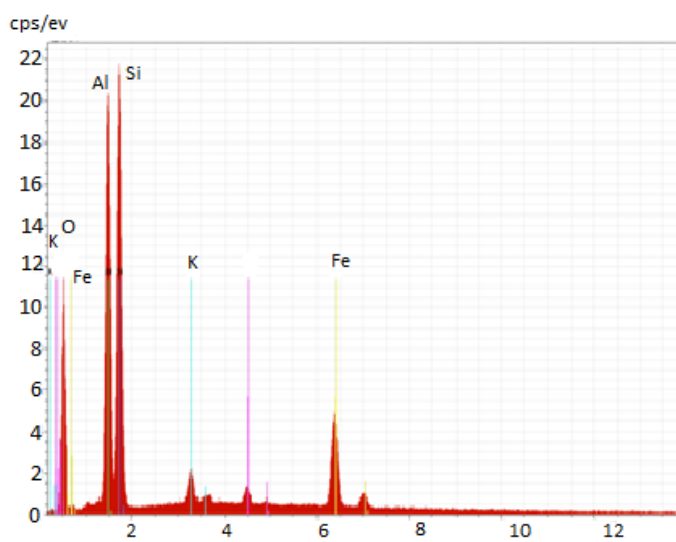
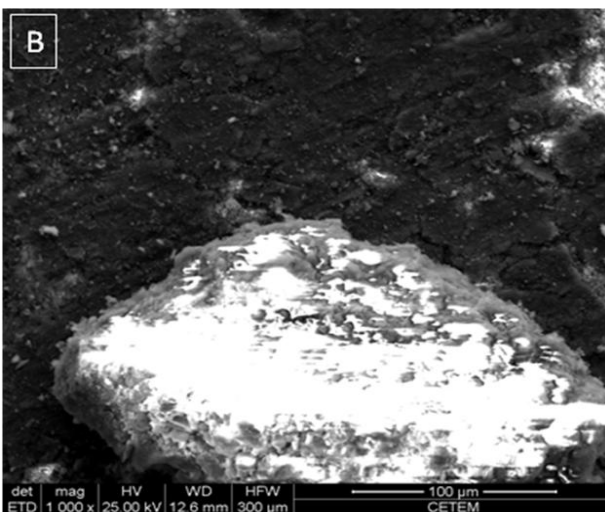
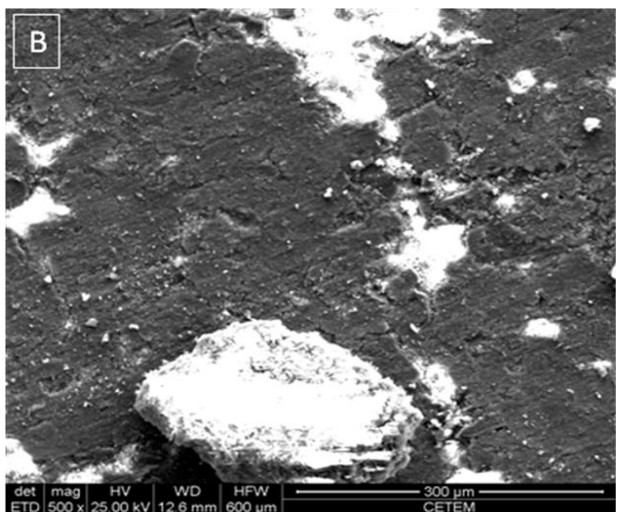
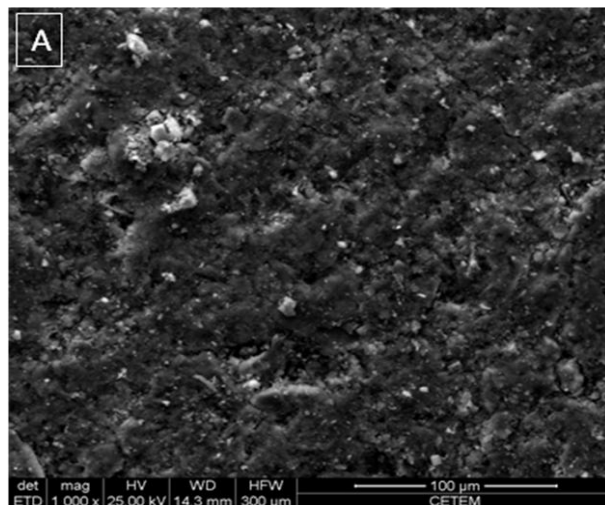
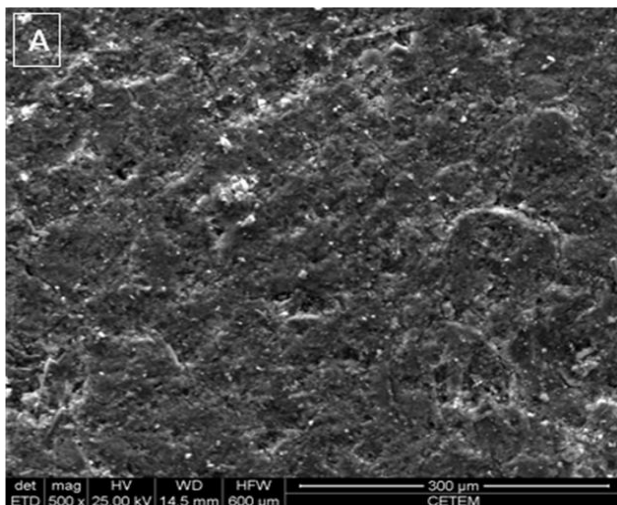


Figura 6.25 Micrografias de MEV da composição na temperatura de 750°C (a) MO%, (b) M40%RG com mapeamento de EDS, (c) M40% A. Com aumentos de 500x e 1000x.

As Figuras 6.26 apresentam as micrografias da superfície das massas cerâmicas de 0%, 40%RG e 40%A queimadas a 950°C. Pode-se observar uma superfície mais homogênea para essa temperatura. Ainda, pode-se observar a 40%RG partícula mais evidente, de quartzo, confirmando no EDS que é o principal componente encontrado no resíduo de granito. O quartzo em excesso pode contribuir para diminuir a resistência nas peças cerâmicas. O EDS mostra picos intensos de Si e Al, além de picos menores de Fe, Ca e O.



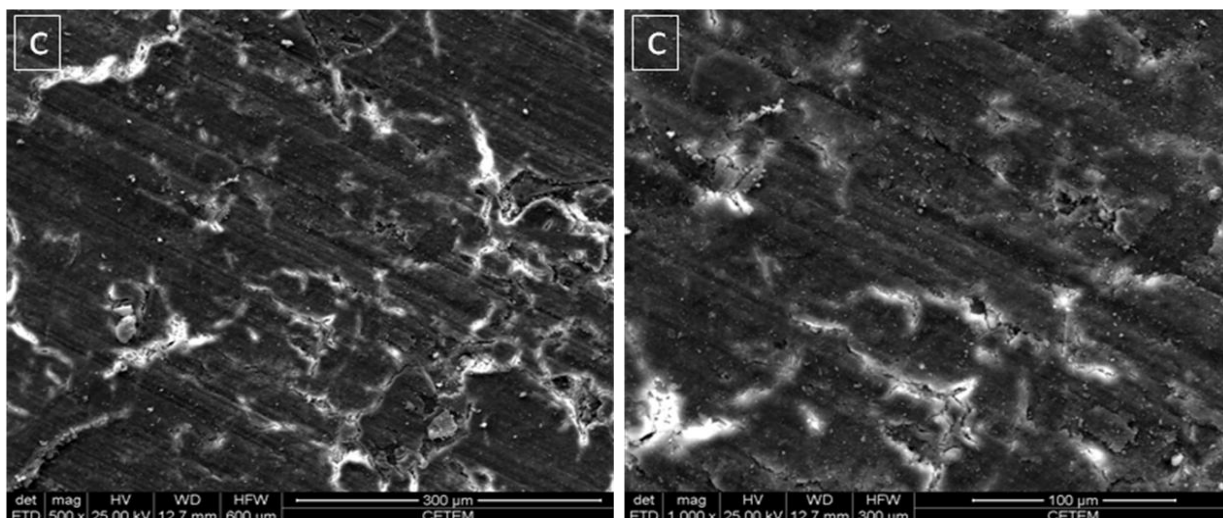
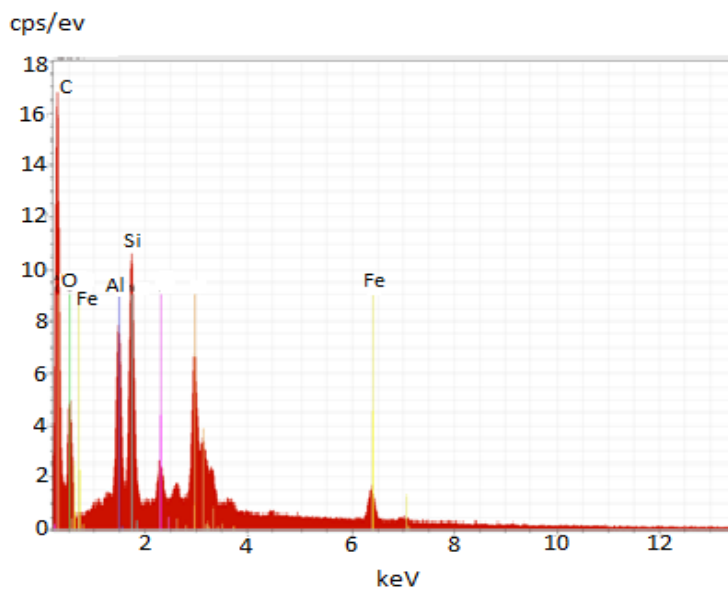
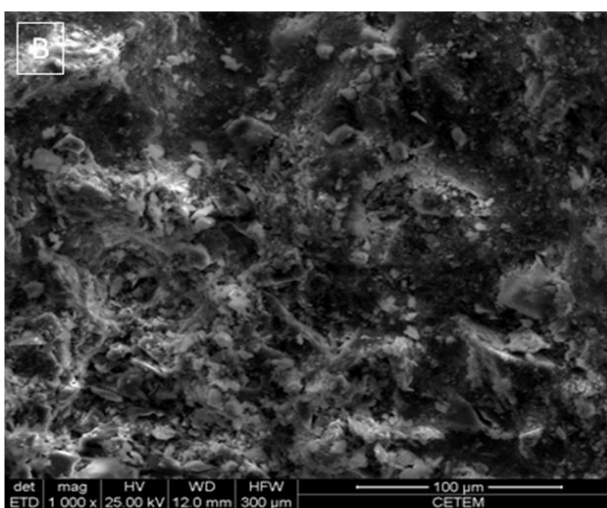
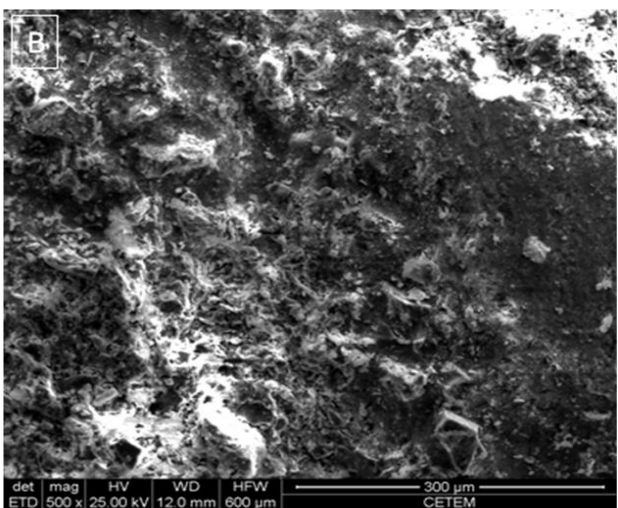
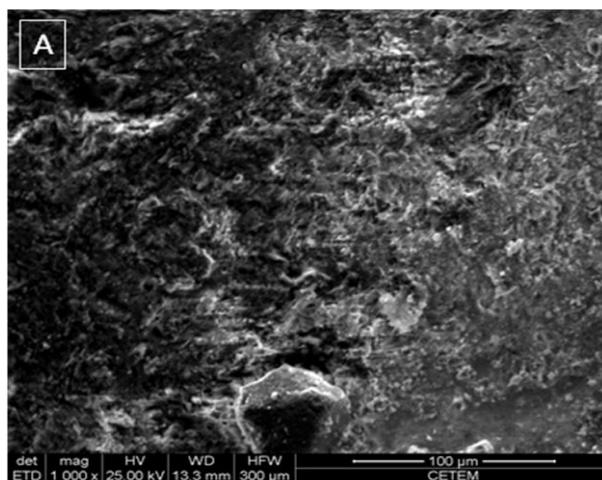
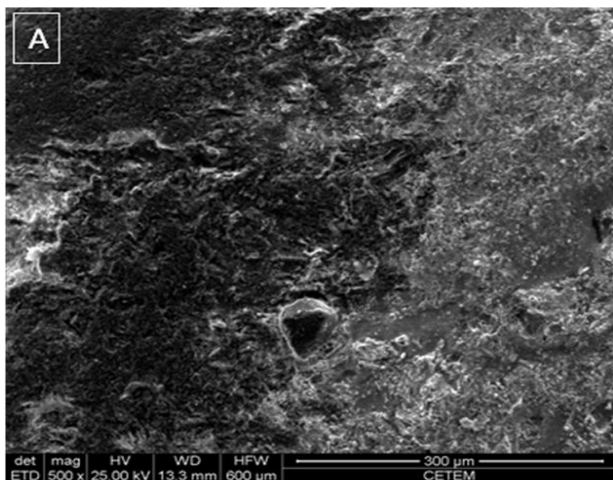


Figura 6.26 Micrografias de MEV da composição na temperatura de 950°C (a) MO%, (b) M40% RG com mapeamento de EDS (c) 40% A. Com aumentos de 500x e 1000x.

A Figura 6.27 apresentam as micrografias da superfície das massas cerâmicas de 0%, 40%RG e 40%A queimadas a 1050°C. Pode-se observar na massa contendo argila pura, superfície bastante porosa com tamanho de poros maiores, em relação às outras composições. Esta porosidade é resultante da etapa de compactação e gerada pelo próprio processo de queima. Mesmo na temperatura de 1050°C, a cerâmica apresenta esta porosidade em função também, do caráter refratário das argilas caulínicas de Campos dos Goytacazes. As composições com resíduo de granito e areia apresentam superfície rugosa e também porosa. Embora os aspectos microestruturais observados nestas figuras não se diferem muito das composições queimadas em temperaturas mais baixas, evidencia-se uma maior consolidação das partículas. O mapeamento por EDS na massa com 40%RG apresenta composições de Si, Al e Fe basicamente como principais constituintes da argila e Si e Al principais constituintes do resíduo de granito mostrado na Tabela 6.1



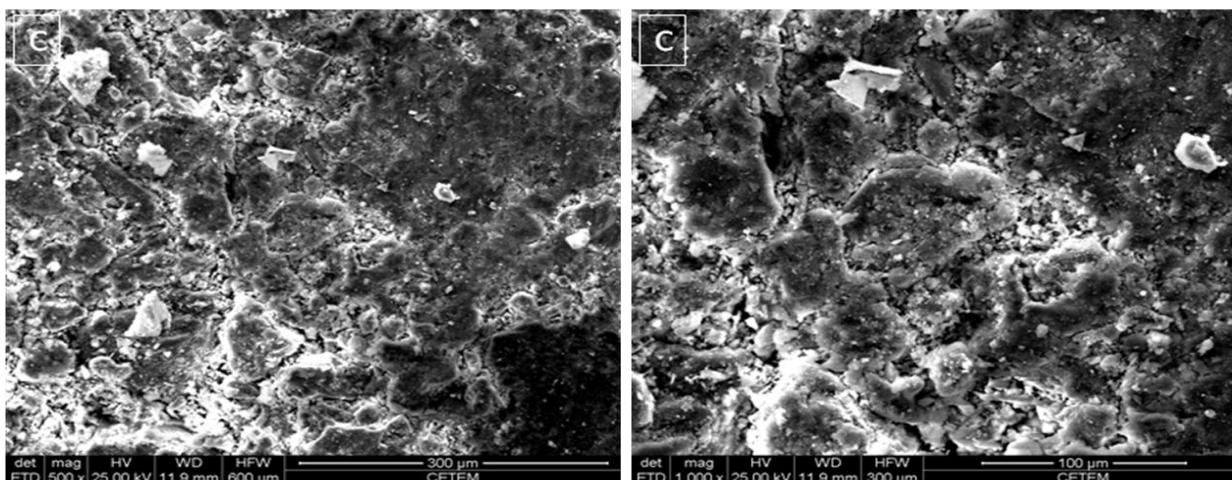


Figura 6.27 Micrografias de MEV da composição na temperatura de 1050°C (a) MO%, (b) M40% RG com mapeamento de EDS (c) 40% A. Com aumentos de 500x e 1000x.

6.6. Análise de fases por difração de raios-X.

A Figura 6.28 apresenta os difratogramas de raios-X da argila pura (0%) queimadas a 750°C e 1050°C. Observa-se a 750°C picos de hematita, microclina, mica muscovita e quartzo. O quartzo e a mica muscovita são fases ditas residuais, ou seja, provenientes da matéria-prima no seu estado natural. Já a hematita é proveniente da desidratação de hidróxidos de ferro, eventualmente presentes nas argilas de Campos dos Goytacazes (Monteiro e Vieira, 2002). A 1050°C nota-se a presença de mulita e cristobalita. A mulita é proveniente da decomposição da metacaulinita, fase amorfa formada a partir da eliminação de água de constituição da caulinita. Já a cristobalita é uma das fases polimórficas da sílica (SiO_2).

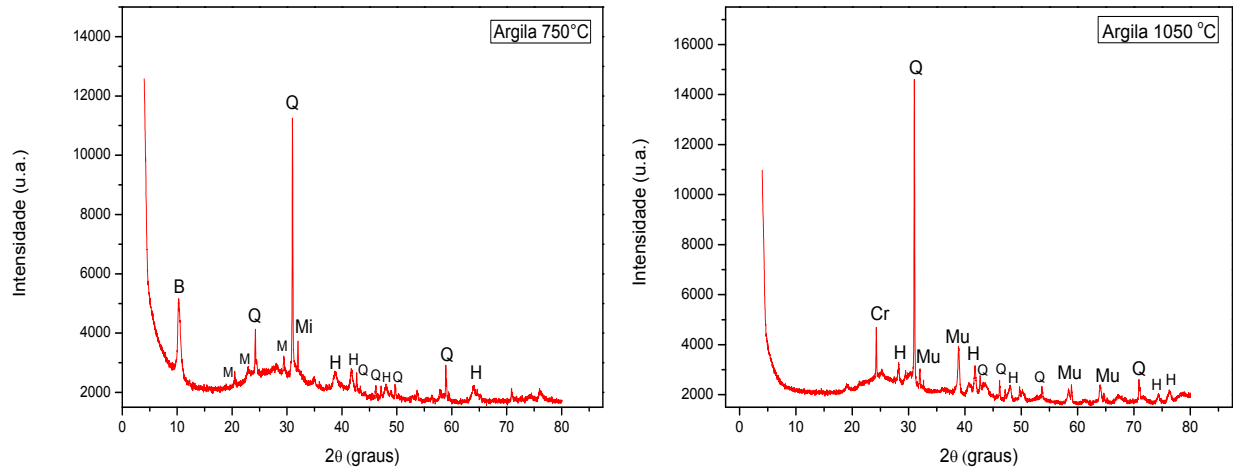


Figura 6.28. Micrografias de raios-X das formulações de 0% nas temperaturas de 750°C e 1050°C. **Cr**= cristobalita, **H**= hematita, **Mi**= microclina, **M**= mica muscovita, **Mu**= mulita **Q**= quartzo

A Figura 6.29 apresenta os difratogramas de raios-X da argila com adição de resíduo de granito a 40% queimadas a 750°C e 1050°C. Nota-se a 750°C e 1050°C picos de biotita, microclina, anortita e quartzo. O quartzo é matéria-prima do seu estado natural. Observa-se também a presença de feldspato potássico, microclina. A biotita pode diminuir a resistência do material devido as lâminas flexíveis que lascam-se facilmente. Na temperatura de 1050°C houve o aparecimento da albita que por ser um mineral refratário, pode dificultar as reações de sinterização acarretando um aumento da porosidade na cerâmica.

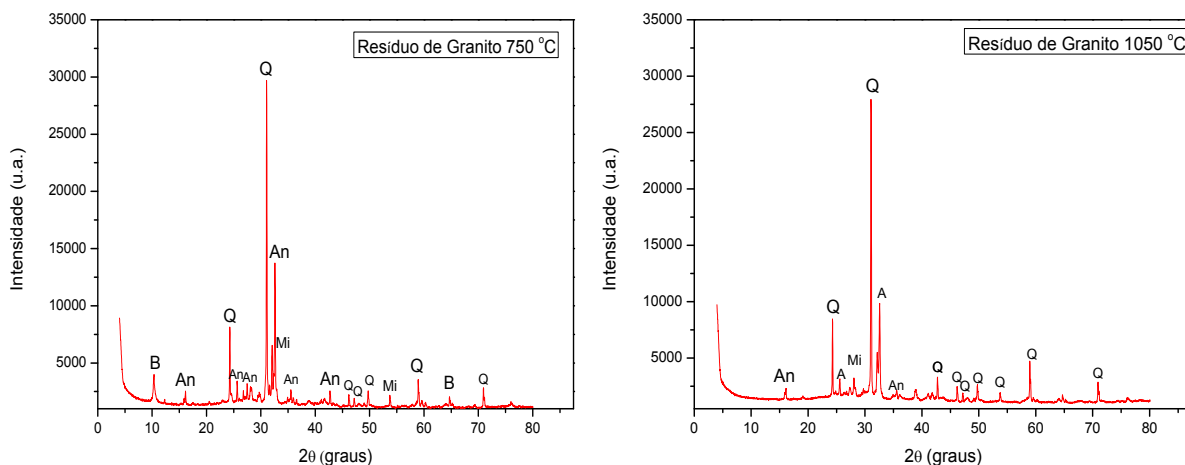


Figura 6.29. Micrografias de raios-X das formulações de 40%RG nas temperaturas de 750°C e 1050°C. **A**= albita, **An**= anortita, **B**= biotita, **Mi**= microclina, **Q**= quartzo

A Figura 6.30 apresenta os difratogramas de raios-X da argila com adição de areia a 40% queimadas a 750°C e 1050°C. Nota-se fases cristalinas como: quartzo, mica muscovita e feldspato potássico, microclina. Com relação ao material natural, ocorreu a decomposição dos hidróxidos e a desidroxilação da caulinita. A variação da temperatura de queima não alterou as fases cristalinas presentes. A partir de 1050°C, espera-se a amorfização e fusão da muscovita, bem como o aparecimento de mulita (Pessanha, 2006).

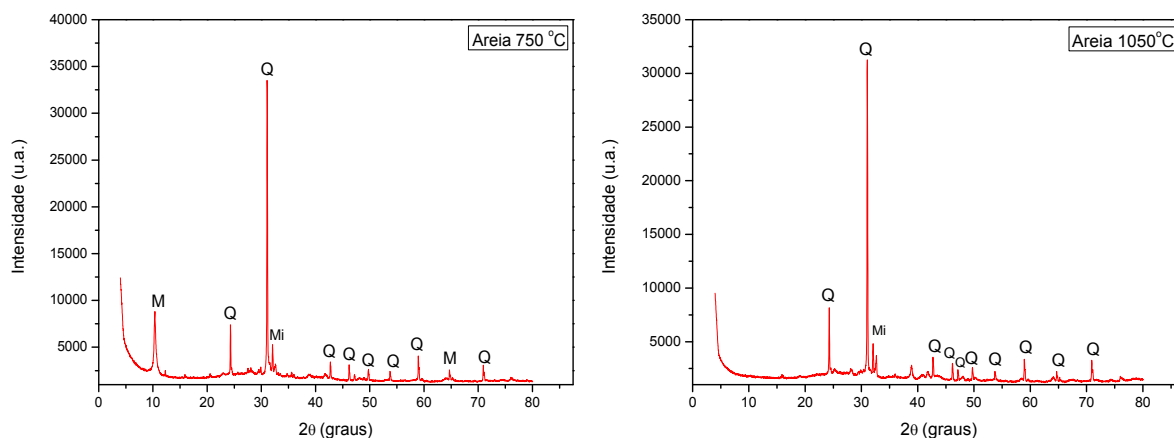


Figura 6.30. Micrografias de raios-X das formulações de 40%A nas temperaturas de 750°C e 1050°C. **H**= hematita, **M**= mica muscovita, **Mi**= microclina, **Q**= quartzo

7 – CONCLUSÕES

7.1. Considerações Finais

Neste trabalho procurou-se estudar o comportamento da incorporação do resíduo de granito na cerâmica vermelha. Foram formuladas massas cerâmicas com o resíduo de rochas ornamentais. Esta formulação tinha a finalidade de desenvolver produtos de alto valor agregado.

Pode ser observado que o presente trabalho comparado ao trabalho de Pazeto, 2008, mostrou que as propriedades do resíduo com granalha, teve resultados mais relevantes. Borlini *et al.*, 2011 incorporou esse mesmo resíduo de granito em cerâmica argilosa sem granalha, porém, a granalha foi retirada do resíduo por meio de separação magnética. Os resultados indicaram que houve um aumento da resistência mecânica do material com a incorporação de 20% de resíduo de granito.

Foi formulada no presente trabalho uma massa cerâmica com 20% de resíduo de granito com o intuito de se esperar um aumento nas propriedades da cerâmica com essa formulação, devido a utilização do trabalho de Borlini *et al.*, 2011 ter utilizado o mesmo resíduo (Iberê Crema Bordeaux) sem granalha, e suas propriedades terem sido satisfatório. Era de se esperar uma diminuição na absorção de água e um aumento da resistência mecânica do material, devido o resíduo de granito poder atuar como fundente durante o estágio de queima.

Também foi possível observar, com o incremento do resíduo de granito e da areia na massa argilosa e queimadas a temperaturas maiores que o habitual, houve um melhoramento nas propriedades tecnológicas das peças em estudos. Isto ficou comprovado que em temperaturas mais elevadas e com o incremento de resíduo de granito, as propriedades tecnológicas obtiveram uma melhora significativa, conseqüentemente, há uma melhoria no produto, tornando-o mais competitivo no mercado. Porém, o aumento da temperatura de queima acarretará um maior gasto energético, com isso, um aumento de preço em relação aos produtos aqui consumidos.

7.2. Conclusões

Neste trabalho de caracterização do resíduo de granito e areia e de avaliação da sua incorporação nas propriedades físicas e mecânicas das peças cerâmicas queimadas a 750, 950 e 1050°C, chegou-se às seguintes conclusões:

- O resíduo de granito apresenta características adequadas à utilização pelo segmento de cerâmica vermelha, como granulometria fina.
- O resíduo melhora a trabalhabilidade/plasticidade da argila, possibilitando assim, ajuste da etapa de conformação da cerâmica.
- A massa cerâmica apresenta excessiva plasticidade que acarreta em uma maior quantidade de água para sua conformação. A incorporação do resíduo ajustou a plasticidade da massa argilosa.
- Na densidade a seco houve um aumento das massas incorporadas com resíduo de granito e areia, melhorando o empacotamento das partículas. Porém as composições com a adição de resíduo de granito, não teve aumento significativo com o aumento da incorporação. Na areia houve um aumento significativo dessa densidade devido à granulometria mais grosseira da areia que possibilitou um melhor empacotamento das partículas.
- No comportamento de queima, as composições queimadas a temperatura de 750°C obtiveram maiores absorção de água relação as demais temperaturas estudadas. Pode-se observar que com a adição do resíduo de granito e da areia a absorção de água diminui. Com o aumento da temperatura, há maior formação de fase líquida. Entretanto como foi visto, isto acarreta maior retração, o que pode acarretar problemas dimensionais nas peças cerâmicas.

-
-
- Observa-se que houve uma redução na resistência mecânica do material cerâmico. Apesar da utilização do resíduo de granito aumentar a resistência devido a sua ação fundente, a influencia da argila, possivelmente, pode ter acarretado uma diminuição, por ser uma argila forte. Apesar da diminuição da resistência mecânica no presente trabalho, o resíduo de granito e a areia se faz necessária para ajustar a plasticidade/trabalhabilidade da massa e ainda reduzir a retração pós queima, quanto à absorção de água.

7.3. Sugestões

- Avaliar a viabilidade econômica da utilização do resíduo de granito de Cachoeiro de Itapemirim-ES para uso em cerâmica vermelha de Campos dos Goytacazes-RJ.
- Aumentar a quantidade de corpos de prova para uma estatística mais apurada.
- Realizar testes com vários tipos de resíduos de granito misturados, beneficiado pela tecnologia de tear diamantado na cerâmica.
- Fazer outras composições com outros tipos de argila.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAJO, M.F. (2000) `Manual sobre Fabricación de Baldosas, Tejas y Ladrillos` Ed. Beralmar S.A, Barcelona.

A GAZETA. (1998) Rejeitos de Rochas Têm Aproveitamento, Suplemento Especial, Vitória, ES, Agosto, p. 1.

AGUIAR, M.C.; BORLINI, M.C.; SANDRINI, I.; MONTEIRO, S.N.; Vieira, C.M.F. (2010) Utilização de Resíduo do Beneficiamento de Granito pela Tecnologia de Tear à Seco para Obtenção de Cerâmica Vermelha. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Campos do Jordão. Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, p.252-259.

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. (2004) “Balanço das exportações Brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento – novo recorde histórico de crescimento.

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. (2008) “Situação Atual e Perspectivas Brasileiras no Setor de Rochas Ornamentais”, Informe nº 02.

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. (2011) “Balanço das exportações Brasileiras de rochas ornamentais.

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. (2012) “Balanço das exportações Brasileiras de rochas ornamentais.

ALMEIDA, N.; BRANCO, F.; SANTOS, J.R. (2007) Recycling of stone slurry in industrial activities: application to concrete mixtures. *Building and Environment*, v. 42, n.2, p. 810-819.

ALMEIDA, S.L.M. CHAVES, A.P. (2002) Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de Santo Antônio de Pádua-RJ. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 35p.

ABNT NBR 6502. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1995) Rochas e Solos. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 10004 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro,

ABNT NBR 10007 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) Amostragem de resíduos. Rio de Janeiro.

ACCHAR, W.; VIEIRA, F.A; HOTZA, D. (2006). Effect of marble and granite sludge in clay materials. **Materials Science and Engineering: A**, v. 419, n. 1-2, p. 306-309, 15 mar.

ASSOCIAZIONE ITALIANA MARMOMACCHINE-AIM. (2002) Tecnologias Italianas para Extração e Beneficiamento de Pedras Ornamentais. Cachoeiro de Itapemirim. Apostila 103p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1997) **Placas Cerâmicas para Revestimento – especificação e métodos de ensaio**. NBR – 13.818, Rio de Janeiro.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984). Determinação do limite de plasticidade de solos. Rio de Janeiro.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984). Determinação do limite de liquidez de solos. Rio de Janeiro.

ASTM C373-72 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (1977a). Test method for water absorption, bulk density, apparent porosity and apparent specific gravity of fired whiteware products.

ASTM C674-77 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (1977b). Flexural properties of ceramic whiteware Materials.

BABISK, M.P. (2009) Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais. Dissertação (mestrado). Instituto Militar de Engenharia - IME. Michelle Pereira Babisk – Rio de Janeiro-RJ.

BACIENSE, A.V. (2011) Pavimentos intertravados de matriz cimentícia incorporados com lama do beneficiamento de rochas ornamentais. Tese (doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. Alexandre Viana Bahiense.

BARBIERI, L.; CORRADI, A.; LANCELLOTTI, A. (2000). Alkaline and alkaline-earth silicate glasses and glass-ceramics from municipal and industrial waste. *Journal of the European Ceramic Society*, Amsterdam, 20: 2477-2483.

BARROS, A.R.; GOMES, P.C.C. (2005) Desenvolvimento de material auto-adensável a base de cimento e resíduo da indústria de beneficiamento de mármore e granito para utilização em pré-moldados. 2005. Projeto FAPEAL – Fundação de amparo à pesquisa do estado de Alagoas. UFAL – Universidade Federal de Alagoas, Al.

BINICI, H.; KAPLAN, H.; YILMAZ, S. (2007) Influence of marble and limestone dusts as additives on some mechanical properties of concrete. *Scientific Research and Essay*. v.2, n.9, p.372-379, set. Disponível em: <
[http://www.academicjournals.org/SRE/PDF/PDF%202007/Sep/Binici%20et %20al.pdf](http://www.academicjournals.org/SRE/PDF/PDF%202007/Sep/Binici%20et%20al.pdf)>. Acesso em 25 out. 2010.

BORLINI, M.C., PAZETO, A.A., OLIVEIRA, J.R., VIEIRA, C.M.F., MONTEIRO, S.N. (2011). Revestimento cerâmico com argila e resíduo de rocha ornamental sem

granalha. . In: 54° Congresso Brasileiro de Cerâmica, Foz do Iguaçu. Anais do 54° Congresso Brasileiro de Cerâmica, p.2508-2519.

BRAGA, F.S., BUZZI, D.C., COUTO, M.C.L., LANGE, L.C. (2010) Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais. Nota técnica. Vol. 13. Nº3. Pag. 237-244.

BUZZI, D.C. *et al.* (2006) Caracterização segundo a NBR 10004/2004 de resíduos gerados no beneficiamento de granitos. In: *SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 8, Anais... Fortaleza, ABES. CD-ROM.

CARVALHO, E.A.; CAMPOS, A.R.; PEITER, C.C.; Rocha, J.C. (2002) Aproveitamento dos resíduos finos das serrarias de Santo Antônio de Pádua. III SRON-Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife, PE.

CALLISTER W. D. (2008). **Ciência e Engenharia dos Materiais, uma Introdução**. 7 ed. Ed. LTC.

CITRAN, G. (2000). *La Segagione de Graniti*. Verona: Giorgio Zusi Editore. 127p.

CARTY, W.M., SEPANATI, U. Porcelain (1998). Raw materials, processing, phase evolution and mechanical behavior. *Jornal of the American Ceramic Society*, v.81, n. 1, p. 3-20.

CALMON, Joao Luiz; MORATTI, Mirko; MORATTI, Marcus. (2005). Concreto autoadensavel: utilizando residuo de serragem de rochas ornamentais como filer. *Aplicacao em pre-fabricados. Guia Empresarial Sinprocim*. n.2, p. 26-31,

CALMON, J.L; SILVA, S.A.C. (2006) Mármore e Granito no Espírito Santo: Problemas Ambientais e Soluções. In: Domingues, A.F.; Boson, P.H.G.; Alípaz, S. *A gestão de recursos hídricos e a mineração*. Brasília: Agência Nacional das Águas-ANA, Instituto

Brasileiro de Mineração-IBRAM, 2006. Pág. 199-231. Disponível em: www.ana.gov.br , (Capturado em: 12 de abril de 2010).

CITRAN, G. (1994). Esame di Parametri Critici piú/meno Noti nella Segagione di Graniti com Telai Multilame a Torbida Abrasiva e Graniglia di Acciaio. Verona. III Congresso Italo Brasileiro di Engegneria Mineraria. p. 331-334.

CHIODI FILHO, Cid. (2005). Situação do setor de rochas ornamentais e de revestimento no Brasil – Mercados interno e externo. In: V SIMPOSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 2005, Recife/Pernambuco. **Anais...** Recife: PPGEMinas, SBG, CETEM, p. 325-347.

CHIODI FILHO, C. (2011). ***Síntese das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2010***. São Paulo: ABIROCHAS. 38p. (Informe 01/2011).

COUTO, M.C.L. *et al.* (2007). Proposta de implantação de uma central de tratamento de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais em Nova Venécia-ES. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24, *Anais...*, Belo Horizonte, ABES. CD-ROM.

CRESPO, M.S. HERNADEZ; RINCON, J. Ma. (2001) New porcelainized stoneware materials obtained by recycling of MSW incinerator fly ashes and granite sawing residues. *Ceramics International*. Oxford, v. 27, p.713–720.

DESTEFANI, A.Z. (2009) Utilização do planejamento experimental na adição do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais para produção de blocos prensados de encaixe. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. André Zotelle Destéfani.

DONDI, M.; MARSIGLI, M; FABRI, B. (1997a) Recycling of industrial and urban waste in brick production – A Review. ***Tile & Brick International***, v. 13, nº3, 218-225p.

DONDI, M.; MARSIGLI, M; FABRI, B. (1997b) Recycling of industrial and urban waste in brick production – A Review (Part 2). **Tile & Brick International**, v. 13, n°4, 302-308p.

FANCINCANI (1997). E. Tecnologia em cerâmica – Los ladrilhos. 3 ed. Barcelona: Faenza Editrice s.p.a. Faenza, 198p.

FRASCA, M. H. B. O. (2007) Rocha como material de construção. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, v1, p.437-480.

FREIRE, Alexandre Sayeg.; MOTTA, José Francisco M. (1995) Potencialidade para o aproveitamento econômico de rejeito da serragem do granito. Revista Rochas de Qualidade. São Paulo. Ano XXV. Julh/ago, 1995. Edição 123, p.98-108.

GOBBO, L. de A.; MELLO, I. S. de C.; QUEIROZ, F.C. de.; FRASCÁ, M.H.B. de O. (2004). Aproveitamento de Resíduos Industriais. In: Mello, Ivan Sérgio de Cavalcante. A Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais e para Revestimento no Estado de São Paulo. IPT, São Paulo, Publicação 2995, p.129-152.

GONÇALVES, J.P. (2000) Utilização do Resíduo do Corte de Granito (RCG) como adição para produção de concretos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

GONSALVES, J. P.; MOURA, Washington Almeida.; Dal Molin, Denise Carpena Coitinho. (2002) Avaliação da Influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição em propriedades mecânicas do concreto. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO MEIO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2002, Rio Grande do Sul. Anais... Rio Grande do Sul: ANTAC, v.2, n.1, p.53-68.

INFOROCHAS (2012). Informativo do Cetemag, Sicoob Credirochas e Sindirochas. Resíduo de rocha ornamental.

KILIKOGLU, V.; CARVALHO, R.S.; SILVA, F.N. (2007) "O uso de fécula de mandioca como aditivo na conformação de peças cerâmicas por extrusão." 51º congresso brasileiro de cerâmica. Salvador, BA. 3 a 6 de junho 2007.

KILIKOGLU, V., VERNIS, G. (1995). Toughening of ceramic earthenwares by quartz inclusions: an ancient art revisited. *Acta Metall. Mater.*, v.43, n°8, p.2959.

LAMEIRAS, R.M. (2004) Estudo do potencial de utilização do resíduo do beneficiamento de chapas de granito (RBCG) como material de construção: Aplicação em concreto. 2004. 97f. Monografia (Engenharia Civil), Universidade Federal de Alagoas.

LELLES, L. C. ; SILVA, E. ; GRIFFITH, J. J. ; MARTINS, S. V. (2005) Perfil Ambiental Qualitativo da Extração de Areia em Cursos d' Água. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 29, n.3, p. 439-444.

LISBOA, E.M.; GOMES, PAULO C.C.; Lima, F.B. de; BARBOZA, A. da S. R.; LAMEIRAS, R. de M. (2004) Obtenção de pastas e argamassas altamente fluidas com resíduos da serragem dos blocos de granito para utilização em concretos alto-adensável. In: I Conferência Latino Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído 2004, São Paulo.

LISBOA, E.M. (2004) Obtenção do concreto auto-adensável utilizando resíduo do beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas.

LORENZONI, D.I. (2005). *Tijolos prensados produzidos com resíduos sólidos industriais*: uma caracterização segundo a NBR 10004/2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES,

LUCENA, L.C.F.L. (2009) Verificação da Influência do uso de Resíduos Industriais como Fíler em Misturas Asfálticas sob o efeito da Presença D'água. 132f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB.

MAIA, M.P.; LACERDA, E.S. (2000) Tecnologias Limpas e Competitividade: Desafios da indústria baiana de rochas ornamentais. 40f. Monografia (Curso de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria), Escola Politécnica. 2000. Disponível em: <<http://intranet/monografias/tecnologias/completa.htm>> Acesso em: 2 junho de 2010.

MANHÃES, J.P.V.T.; HOLANDA, J.N.F. (2008) Caracterização e classificação de resíduo sólido “pó de rocha granítica” gerado na indústria de rochas ornamentais. *Química Nova*, v. 31, n. 6, p. 1301-1304.

MÁS, E. (2002) “Qualidade e Tecnologia em Cerâmica Vermelha”. Editora Pólo Produções LTDA, São Paulo. (Apostilas).

MELLO, I.S.C.; CUCIERATO, G.; MOTTA, J.F.M.; CONSONI, A.J.; REIS, F.A.G.V.; MUNIZ, J.M.C. (2006) Aproveitamento dos resíduos sólidos das serrarias de rochas ornamentais e para revestimento. Estudo de caso: Emigran Pisos e Revestimentos em granitos. IPT. São Paulo.

MELLO, R.M. (2006) Utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de mármore e granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear-Aplicações Materiais). Instituto e pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo.

MENEZES, R.R., FERREIRA, H.S., NEVES, G.A., FERREIRA, H.C. (2002) Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas. *Cerâmica*, vol 48, nº 306.

MENEZES, R.R., FERREIRA, H.S., NEVES, G.A., LIRA, H.L., FERREIRA, H.C. (2005). Use of granite sawing waste in the production of ceramic bricks and tiles. Vol. 25, pág. 1149-1158.

MONTANO, L.; BIANCHINI, N.; RINCÓN, J.M.; ROMERO, M. (2001). Sintering behavior of pressed red wastes from zinc hydrometallurgy. **Ceramics International**, Oxford, 27: 29-37.

MONTEIRO, S.N., Vieira. C.M.F. (2002) *Tile & Brick Int.* v.18, n. 3, pág. 152-157.

MONTEIRO.S.N., PEÇANHA, L.A., VIEIRA, C.M.F. (2004). Reformulation of roofing tiles body with addition of granite waste from sawing operation. Vol. 24. Pág. 2349-2356.

MOREIRA, J.M.S., FREIRE, M.N., HOLANDA, J.N.F. (2003) Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, vol.49, p.262-267.

MOREIRA, J.M.S., MANHÃES, J.P.V.T., HOLANDA. J.N.F. (2008). Processing of red ceramic using ornamental rock powder waste. Vol. 196, p. 88-93.

PAZETO, A. A.; BORLINI, M.C ; CARANASSIOS, A . (2008) Caracterização do Resíduo Proveniente do Beneficiamento do Granito Iberê Crema Bordeaux e sua Aplicação em Cerâmica Argilosa. In: XVI Jornada de Iniciação Científica, 2008, Rio de Janeiro. Anais da XVI Jornada de Iniciação Científica, p. 134-14.

PEDRAS DO BRASIL (2003). ES produzirá tear a seco. *Pedras do Brasil*. N° 21. p.55.

PEDROSA, S.C. (2003) Curso de Encarregado de Serraria. Cachoeiro de Itapemirim. Centro Tecnológico do Mármore e Granito-CETEMAG. Apostila. 66p. *Pedras do Brasil*. ES Produzirá Tear a Seco. *Pedras do Brasil*. N°21. p.55.

PEDROTI, L.G (2011) Desenvolvimento de massa cerâmica com o uso de resíduo de granito para obtenção de blocos cerâmicos prensados de encaixe de matriz argilosa. Tese (doutorado. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. Leonardo Gonçalves Pedroti.

PONTES, I., STELLIN Junior, A. (2001) Utilização de finos de serrarias do Espírito Santo nas Indústrias de Construção Civil. In: Jornadas Ibermac. “ Caracterizacion y Normalizacion de Materiales de Construccion”. Programa Cytel, Madri/ Espanha.

PESSANHA JUNIOR, L.A. Reformulação de massa cerâmica para telhas do município de Campos dos Goytacazes. Dissertação. (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF.

QUEBAUD, M.R.; GOMES, F.C. (2006) Reciclagem de resíduos minerais sólidos como agregados de substituição em argamassa e concreto. In: 48º Congresso Brasileiro de Concreto, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: IBRACON, 2006. CD-ROM.

REIS, A.S. (2008) Estudo de aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de ladrilho hidráulico piso tátil. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. Alessandra Savazzani dos Reis – Vitória-ES.

ROCHAS DE QUALIDADE. (2007a) Exportações continuam crescendo. São Paulo, set/out. 2007a. Edição 196, p. 173.

ROCHAS DE QUALIDADE. (2007b) Exportações de rochas no 1º semestre ultrapassam meio bilhão. São Paulo, set/out. 2007b. Edição 196, p. 157

RIBEIRO, R.P. (2005). Influência das características petrográficas de granitos no processo industrial de desdobramentos de blocos. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo – USP. 120p.

REGADAS, I.C.M.C. (2006). Aspectos relacionados às lavras de granitos Ornamentais com fio diamantado no norte do Espírito Santo, Brasil. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo – USP. 130p.

ROC MAQUINA. (1998) La Maquinaria para el Sector de La Piedra Natural. Roc Maquina. N°49, p. 107-125.

RODRIGUES, G.F. (2009) Reciclagem de resíduos visando à produção de lã mineral. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto-UFOP. 83p.

SABRAH, B.A.; EBIED, E.A. (1987). Utilization of cement-dust a substitute of some Clay content in Clay-sand. **Freiburg**, 1: 5129-5137.

SANTOS. P.S. (1989). Ciência e tecnologia das argilas. 2 ed. São Paulo. Edgard Blucher. V.01. 408 p.

SEGADAES, A. M.; CARVALHO M. A.; ACCHAR, W. (2005). Using marble and granite rejects to enhance the processing of clay products. **Applied Clay Science**, 11p.

SILVA, J.B., HOTZA, D., SEGADÃES, A.M., ACCHAR, W. (2005) Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas. *Cerâmica*. p.325-330.

SINDIROCHAS – Sindicato da Indústria de Rochas Ornamentais, Cal e Calcário do Estado do Espírito Santo. (2007). Disponível em:< <http://www.sindirochas.com.br/> > Acesso em: 19 maio 2010.

SINDIROCHAS – Sindicato da Indústria de Rochas Ornamentais, Cal e Calcário do Estado do Espírito Santo. (2004). Disponível em:< <http://www.sindirochas.com.br/> > Acesso em: 20 maio 2010.

SOUTO, K.M., NEVES. G.A., FERREIRA, H.C., SILVA, M.C. (2000) Anais do 14° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, São Pedro-SP, em CD-ROM, 2000.

SOUTO, K.M., NEVES. G.A., FERREIRA, H.C., SILVA, M.C. (2001) Anais do 45° Congresso Brasileiro de Cerâmica, Florianópolis-SC, em CD ROW, 2001.

SOUZA, E.T.A., MONTEIRO, S.N., VIEIRA, C.M.F. (2004) Revestimento cerâmico com granito e argila caulínica. *Cerâmica*. v.50.

SOUZA, A.J., PINHEIRO, B.C.A., HOLANDA, J.N.F. (2010). Recycling of gneiss rock waste in the manufacture of vitrified floor tiles. Vol. 91, pág. 685-689.

SOUZA, A.J., PINHEIRO, B.C.A., HOLANDA, J.N.F. (2010). Processing of floor tiles bearing ornamental rock-cutting waste. Vol. 210. 1898-1904.

STELLIN JÚNIOR, A. (1998) Serragem de Granitos para fins Ornamentais. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia e Minas. São Paulo. EPUSP. 37p.

SUÁREZ DEL RIO, L.M. *et al.* (1998) El Corte de Rocas Ornamentales con Discos Diamantados: Influência de los factores Propios del Sistema de Corte. *Materialles de Construcción*. V.48. Nº250. p.53-59.

TENÓRIO, J.J.L. (2004) Desenvolvimento de argamassa através da utilização do resíduo do beneficiamento de chapas de granito (RBCG). 2004. 62f. Monografia (curso de Engenharia Civil), Universidade Federal de Alagoas, Alagoas/ Maceió.

TENÓRIO, J.J.L.; Lameiras, R.M.; Lima, L.A. de. (2005) Desempenho de argamassas produzidas com resíduos do beneficiamento de chapas de granito (RBCG). In: VI SBTA-Seminário Brasileiro de Tecnologia das argamassas e I International Symposium on Mortars Technology, 2005. Florianópolis/SC.

TORRES, P.; FERNANDES, H.R.; AGATHPOULOS, S.; TULYAGANOV, D.U.; FERREIRA, J.M.F. (2004). Incorporation of granite cutting sludge in industrial porcelain tile formulations. *Journal of the European Ceramic Society*, 24, p. 3177–3185.

TORRES, P., FERNADES, H.R., OLHERO, S., FERREIRA, J.M.F. (2009). Incorporation of waste from granite rock cutting and polishing industries to produce roof tiles. Vol. 29, pág. 23-30.

TORRES, P., MANJATE, R.S., QUARESMA, S., FERNADES, H.R., FERREIRA, J.M.F. (2007). Development of ceramic floor tile compositions based on quartzite and granite sludges. Vol. 27, pág. 4649-4655.

THOMPSON, K.R. (1990) Cala Eletrônica Aumenta Produção. Rochas de Qualidade. N° 103. p.86-87.

VARGAS, T. et al. (2001) Rochas Ornamentais do Brasil, seu Modo de Ocorrência Geológica, Variedade Tipológica, Exploração Comercial e Utilidades como Materiais Nobres de Construção. Revista de Geociências. Instituto de Geociências. São Paulo,

VIEIRA, C.M.F., HOLANDA, J.N.F. PINATTI, D.G. (2000) Cerâmica n°. 46, pág. 14-17.

VIERIA, C.M.F., PEÇANHA, L.A., MONTEIRO, S.N. (2002) Reformulação de massa cerâmica para telhas com resíduo de serragem de granito. Congresso de Engenharia e Ciência dos Materias. CBECiMat.

VIEIRA, C.M.F., SOARES, T.M., MONTEIRO, S.N. (2003) Massas cerâmicas para telhas: características e comportamento de queima. Cerâmica. n°49, pág. 245-250.

VIEIRA, C.M.F., SOARES, T.M., SÁNCHEZ. R., MONTEIRO, S.N. (2004). Incorporation of granite in red ceramic. Pág. 115-121.

VIEIRA. C.M.F., MONTEIRO. S.N. (2004). Solid state sintering of red ceramics at lower temperatures. **Ceramics internacional**. V. 30, p. 381-387.

VIEIRA, C.M.F., TERRONES, L.A., SANCHEZ, R., MONTEIRO, S.N. (2007). Características de fração granulométrica $<2\mu\text{m}$ no comportamento de queima de uma argila. *Cerâmica*.

VIEIRA, C.M.F.; MONTEIRO, S.N. (2009) Incorporation of solid waste in red ceramics – na updated review. **Revista Matéria**, v.14, nº3, p.881-905. Disponível em: <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo11097>.

XAVIER, G.C., SABOYA, F., MAIA, P.C.A., ALEXANDRE, J. (2009) Análise de processos de degradação acelerada em laboratório para estudo da durabilidade de peças cerâmicas vermelhas incorporadas com resíduo de granito. *Cerâmica*. nº 55, pág. 1-10.

XAVIER, G.C., SABOYA, F., MAIA, P.C.A., ALEXANDRE, J. (2007) Avaliação da alteração de peças cerâmicas incorporadas com resíduo de granito provocado pelo intemperismo. In: 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Salvador-Ba.

XAVIER, G. de Castro; JÚNIOR, F. Saboya; ALEXANDRE, Jonas. (2003). Otimização por planejamento factorial 3^2 dos ensaios físicos-mecânicos das misturas de resíduo de granito na massa cerâmica vermelha moldados por prensagem. In: 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica. João Pessoa/PB. 2003. Anais...João Pessoa/PB: ABCP – Associação Brasileira de Cerâmica, p.180-187, 2003.

