

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE GEOTECNIA

TÚLIO CAVALCANTI DIAS

**ESTUDO DE ARGILAS DA REGIÃO LESTE DA PARAÍBA PARA
ELABORAÇÃO DE CERÂMICAS REFRAATÁRIAS COM A INCORPORAÇÃO
DE PÓ DE MADEIRA**

Orientador: Prof. PhD. João Batista Queiroz de Carvalho

Campina Grande - PB

Abril / 2004



D311e

Dias, Túlio Cavalcanti

Estudo de argilas da região leste da Paraíba para elaboração de cerâmicas refratárias com a incorporação de pó de madeira/ Túlio Cavalcanti Dias. – Campina Grande. UFCG, 2004.

101p. il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

UFCG / CCT

Inclui bibliografia

1. Cerâmica 2. Refratário 3. Poroso

I. Título

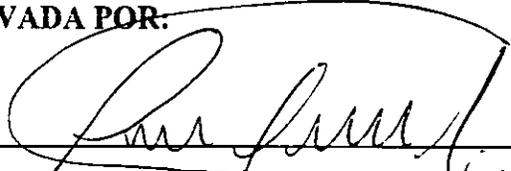
CDU: 624.131

**ESTUDO DE ARGILAS DA REGIÃO LESTE DA PARAÍBA PARA
ELABORAÇÃO DE CERÂMICAS REFRAATÁRIAS COM A INCORPORAÇÃO
DE PÓ DE MADEIRA**

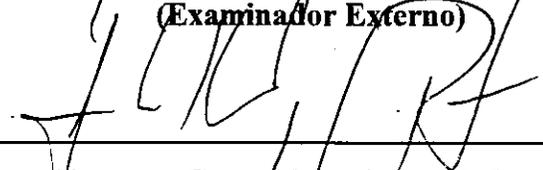
TÚLIO CAVALCANTI DIAS

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE
CAMPINA GRANDE COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL,
ÁREA DE GEOTECNIA.**

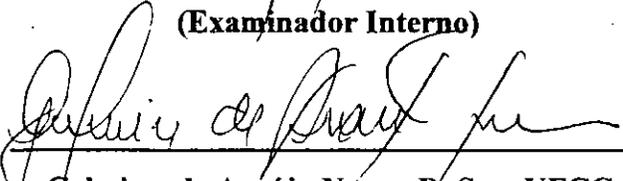
DISSERTAÇÃO APROVADA POR:



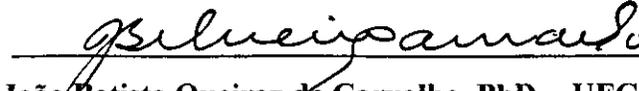
Luiz Renato de Araújo Pontes, D.Sc. - UFPB
(Examinador Externo)



John Kennedy Guedes Rodrigues, D. Sc. - UFCG
(Examinador Interno)



Gelmires de Araújo Neves, D. Sc. - UFCG
(Examinador Interno)



João Batista Queiroz de Carvalho, PhD. - UFCG
(Orientador)

Campina Grande – PB

Abril / 2004

DEDICATÓRIA

Aos meus pais
Mirabeau e Suely,
a meu irmão
Bruno
e a Adriana.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. João Batista Queiroz de Carvalho, pela orientação, disponibilidade, paciência e apoio no decorrer de todo este trabalho.

Ao professor Dr. Luiz Renato de Araújo Pontes pelo apoio técnico e acadêmico que nos possibilitaram a conclusão desse trabalho.

Aos meus amigos e colegas de mestrado, pelos momentos de apoio e descontração que ajudaram a superar as dificuldades do curso.

Aos funcionários do Laboratório de Materiais e Produtos Cerâmicos – CT – Campus I – UFPB.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil (área de geotecnia) – CCT – UFCG, pela gentileza e colaboração dispensada.

Enfim, a todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram com este trabalho.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xi

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação.....	01
1.2. Objetivos.....	04
1.2.1. Objetivo Geral.....	04
1.2.2. Objetivos Específicos.....	04
1.3. Organização da Dissertação.....	04

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução.....	05
2.2. Caracterização e Conceitos sobre o que é uma Argila.....	05
2.2.1. Propriedades e Conceitos dos Principais Argilominerais.....	09
2.3. Histórico sobre a Cerâmica.....	12
2.3.1. Cerâmica e Materiais Cerâmicos.....	13
2.3.2. A Cerâmica no Brasil.....	15
2.3.2.1. Período Pré-Cabraliano.....	15
2.3.2.2. Períodos Colonial e Imperial.....	15
2.3.2.3. Período Contemporâneo.....	15
2.3.3. Utilização das Argilas.....	16
2.4. Cerâmica como um Setor da Tecnologia.....	22

2.4.1. Conceitos.....	22
2.4.1.1. Partícula.....	22
2.4.1.2. Agregado.....	22
2.4.1.3. Aglomerado.....	23
2.4.1.4. Partícula Mínima.....	23
2.4.1.5. Dimensões de um Partícula.....	23
2.4.1.6. Forma das Partículas.....	24
2.4.1.7. Partículas e Dimensões Coloidais.....	24
2.4.2. Utilização de Argilas para Uso Industrial em Cerâmica Vermelha.....	25
2.4.2.1. Argilas para Fabricação de Tijolos.....	25
2.4.2.2. Argilas para Fabricação de Telhas.....	26
2.4.2.3. Argilas para Fabricação de Ladrilhos de Piso.....	26
2.4.2.4. Argilas para Fabricação de Manilhas Vidradas.....	27
2.4.2.5. Argilas para Fabricação de Agregados Leves.....	27
2.5. Propriedades das Argilas Relacionadas com suas Aplicações.....	28
2.6. Argilas para Fabricação de Tijolos Refratários Isolantes Visando	
Aproveitamento de Pó de Madeira.....	29
2.7. Geologia da Região em Estudo.....	30
2.7.1. A Mineração na Paraíba.....	30
2.7.2. Os Solos na Paraíba.....	32
2.8. Conclusão.....	33

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais.....	34
3.1.1. Localização e Denominação das Amostras.....	34
3.1.2. Coleta das Amostras.....	37
3.2. Métodos.....	38
3.2.1. Esquema em Fluxograma dos Métodos de Ensaio Utilizados.....	38
3.2.2. Caracterização das Amostras.....	39
3.2.2.1. Análise Granulométrica.....	39

3.2.2.2. Determinação dos Limites de Liquidez e de Plasticidade.....	39
3.2.2.3. Massa Específica Real pelo Método do Picnômetro.....	40
3.2.2.4. Caracterização Química das Amostras.....	40
3.2.2.5. Difração de Raio X.....	40
3.2.2.6. Análise Térmica Diferencial (ATD).....	41
3.2.3. Estudo de Argila com a Incorporação de Pó de Madeira.....	41
3.2.4. Propriedades Físico-Mecânicas dos Corpos Cerâmicos com a Incorporação de Pó de Madeira Antes da Queima.....	45
3.2.4.1. Determinação do Teor de Umidade dos Corpos de Prova.....	45
3.2.4.2. Determinação da Retração Linear de Secagem dos Corpos de Prova.....	45
3.2.5. Queima dos Corpos de Prova.....	46
3.2.6. Propriedades Físico-Mecânicas dos Corpos Cerâmicos com a Incorporação de Pó de Madeira Depois da Queima	46
3.2.6.1. Determinação da Perda de Massa ao Fogo dos Corpos de Prova.....	46
3.2.6.2. Determinação da Retração Linear de Queima dos Corpos de Prova.....	47
3.2.6.3. Determinação da Porosidade Aparente dos Corpos de Prova.....	47
3.2.6.4. Determinação da Absorção de Água dos Corpos de Prova.....	49
3.2.6.5. Determinação da Densidade Aparente dos Corpos de Prova.....	50
3.2.6.6. Determinação da Resistência à Flexão dos Corpos de Prova.....	50
3.2.6.6.1. Princípio de Funcionamento do Aparelho Utilizado....	50
3.2.6.6.2. Interpretação e Obtenção dos Resultados.....	52

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização das Cinco Amostras.....	53
4.1.1. Análise Granulométrica.....	53
4.1.2. Determinação dos Limites de Liquidez e Plasticidade.....	57
4.1.3. Massa Específica Real pelo Método do Picnômetro.....	59
4.1.4. Caracterização Química das Amostras.....	59
4.1.4.1. Ponto de Fusão.....	60
4.1.5. Difração de Raios X.....	62
4.1.6. Análise Térmica Diferencial (ATD).....	69
4.2. Estudo de Argila com a Incorporação de Pó de Madeira	75
4.2.1. Propriedades Físico-Mecânicas dos Corpos Cerâmicos com a Incorporação de Pó de Madeira Antes da Queima.....	76
4.2.1.1. Determinação do Teor de Umidade dos Corpos de Prova.....	76
4.2.1.2. Determinação da Retração Linear de Secagem dos Corpos de Prova.....	77
4.2.2. Propriedades Físico-Mecânicas dos Corpos Cerâmicos com a Incorporação de Pó de Madeira Depois da Queima.....	78
4.2.2.1. Determinação da Perda de Massa ao Fogo dos Corpos de Prova.....	78
4.2.2.2. Determinação da Retração Linear de Queima dos Corpos de Prova.....	80
4.2.2.3. Determinação da Porosidade Aparente dos Corpos de Prova.....	82
4.2.2.4. Determinação da Absorção de Água dos Corpos de Prova.....	85
4.2.2.5. Determinação da Densidade Aparente dos Corpos de Prova.....	87
4.2.2.6. Determinação da Resistência à Flexão dos Corpos de Prova.....	89
4.2.3. Comparação com os Resultados de Dutra (2002).....	91

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES.....	94
CAPÍTULO 6 – SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	96
CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fonte : SEMENA / 1981 – Pesquisa da Produção Mineral.....	31
Figura 2 – Localização geográfica dos municípios em estudo.....	34
Figura 3 – Sacos com argila recebidos no laboratório.....	35
Figura 4 – Moinho de bolas tipo Sonnex da Pavitest.....	37
Figura 5 – Pó de madeira moído e peneirado.....	42
Figura 6 – Balança de precisão 0,01g.....	42
Figura 7 – Material ensacado.....	43
Figura 8 – Extrusora Verdés.....	44
Figura 9 – Estufas Elétricas.....	44
Figura 10 – Forno Elétrico.....	46
Figura 11 – Autoclave.....	48
Figura 12 – Pesagem dos corpos de prova imersos.....	49
Figura 13 – Aparelho BP 20 para determinação da resistência à flexão.....	51
Figura 14 – Curva Granulométrica da amostra SR1.....	53
Figura 15 – Curva Granulométrica da amostra SR2.....	54
Figura 16 – Curva Granulométrica da amostra MU1.....	54
Figura 17 – Curva Granulométrica da amostra MU2.....	55
Figura 18 – Curva Granulométrica da amostra MA1.....	55
Figura 19 – Difratoograma da amostra SR1.....	62
Figura 20 – Difratoograma da amostra SR2.....	63
Figura 21 – Difratoograma da amostra MU1.....	64
Figura 22 – Difratoograma da amostra MU2.....	65
Figura 23 – Difratoograma da amostra MA1.....	66
Figura 24 – Analisador Termodiferencial utilizados nas amostras.....	69
Figura 25 – Termograma da amostra SR1.....	70
Figura 26 – Termograma da amostra SR2.....	71
Figura 27 – Termograma da amostra MU1.....	72
Figura 28 – Termograma da amostra MU2.....	73

Figura 29 – Termograma da amostra MA1.....	74
Figura 30 – Corpo de prova com rachadura.....	75
Figura 31 – Gráfico Percentual de Material Orgânico x Teor de Umidade.....	77
Figura 32 – Gráfico Percentual de Material Orgânico x Retração Linear de Secagem...	78
Figura 33 – Perda de Massa ao Fogo, variando a temperatura.....	79
Figura 34 – Perda de Massa ao Fogo, variando os percentuais de matéria orgânica.....	80
Figura 35 – Retração Lineares de Queima, variando a temperatura.....	81
Figura 36 – Perda de Massa ao Fogo, variando os percentuais de matéria orgânica.....	82
Figura 37 – Porosidade Aparente, variando a temperatura.....	83
Figura 38 – Porosidade Aparente, variando os percentuais de matéria orgânica.....	84
Figura 39 – Absorção de Água, variando a temperatura.....	85
Figura 40 – Absorção de Água, variando o percentual de matéria orgânica.....	86
Figura 41 – Densidade Aparente, variando a temperatura.....	87
Figura 42 – Densidade Aparente, variando os percentuais de matéria orgânica.....	88
Figura 43 – Resistência a Flexão, variando a temperatura.....	89
Figura 44 – Resistência a Flexão, variando os percentuais de matéria orgânica.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades Químicas de Argilas Típicas (Ralph Grim – Clay Mineralogy. New York, 1953).....	11
Tabela 2 – Adaptação do texto de Pizarro (1922).....	14
Tabela 3 – Classificação Tecnológica Operacional para usos Industriais de Argilas (Ferreira, 1972).....	18
Tabela 4 – Desenvolvimento de Área Específica pela Subdivisão de 1 cm ³ de um Sólido de Densidade 1 g/cm ³	24
Tabela 5 – Resumo da Granulometria das 5 amostras.....	56
Tabela 6 – Resumo dos índices de plasticidade das cinco amostras.....	57
Tabela 7 – Classificação das argilas quanto ao Índice de Plasticidade.....	58
Tabela 8 – Resumo percentual da classificação das amostras.....	58
Tabela 9 – Massa Específica Real das amostras.....	59
Tabela 10 – Composição química das amostras.....	60
Tabela 11 – Ponto de fusão das amostras pelo método de Schuen.....	61
Tabela 12 – Tabela de picos do difratograma da amostra SR1.....	62
Tabela 13 – Tabela de picos do difratograma da amostra SR2.....	63
Tabela 14 – Tabela de picos do difratograma da amostra MU1.....	64
Tabela 15 – Tabela de picos do difratograma da amostra MU2.....	65
Tabela 16 – Tabela de picos do difratograma da amostra MA1.....	66
Tabela 17 – Determinação do Teor de Umidade dos Corpos de Prova.....	76
Tabela 18 – Determinação da Retração Linear de Secagem dos Corpos de Prova.....	77
Tabela 19 – Perda de Massa ao Fogo, variando a temperatura.....	79
Tabela 20 – Perda de Massa ao Fogo, variando os percentuais de matéria orgânica.....	79
Tabela 21 – Retração Linear de Queima, variando a temperatura.....	81
Tabela 22 – Perda de Massa ao Fogo, variando os percentuais de matéria orgânica.....	82
Tabela 23 – Porosidade Aparente, variando a temperatura.....	83
Tabela 24 – Porosidade Aparente, variando os percentuais de matéria orgânica.....	84
Tabela 25 – Absorção de Água, variando a temperatura.....	85

Tabela 26 – Absorção de Água, variando o percentual de matéria orgânica.....	86
Tabela 27 – Densidade Aparente, variando a temperatura.....	87
Tabela 28 – Densidade Aparente, variando os percentuais de matéria orgânica.....	88
Tabela 29 – Resistência a Flexão, variando a temperatura.....	89
Tabela 30 – Resistência a Flexão, variando os percentuais de matéria orgânica.....	90
Tabela 31 – Fatores da fabricação das peças cerâmicas porosas.....	91
Tabela 32 – Comparativo entre as propriedades de secagem.....	92
Tabela 33 – Comparativo entre as propriedades de queima (1050°C / 1100°C).....	92
Tabela 34 – Comparativo entre as propriedades de queima (1200°C).....	93

RESUMO

O estado da Paraíba é um grande produtor de cerâmica vermelha, no entanto, muitas vezes, o processo industrial da fabricação desse tipo de cerâmica é pouco eficiente, apresentando gastos desnecessários e prejuízo ao meio ambiente. Visando aprimorar parte deste processo, surgiu a motivação para o estudo do comportamento de algumas propriedades das peças cerâmicas refratárias e porosas para analisar a possibilidade delas serem utilizadas como revestimento das paredes dos fornos das fábricas, com o objetivo de melhorar o isolamento térmico do ambiente e diminuir a quantidade de energia utilizada no processo de queima. No desenvolvimento da matriz porosa foi utilizado uma composição de argila e areia, na proporção 2:1 com adição de pó de madeira nas proporções 0%, 10% e 20% em relação ao volume total da composição. Todas as peças foram elaboradas pelo método de extrusão, queimadas nas temperaturas 950°C, 1050°C e 1200°C e submetidas aos ensaios de teor de umidade, retração linear de secagem, perda de massa ao fogo, retração linear de queima, massa específica real, porosidade aparente, absorção de água, densidade real e resistência à flexão. Analisando os resultados, concluiu-se que existe uma possibilidade viável do aproveitamento das matérias primas utilizadas no processo de fabricação das peças cerâmicas refratárias e porosas para fim desejado.

ABSTRACT

The state of the Paraíba is a great red ceramics producer, however, many times, the industrial process of the manufacture of this type of ceramics is little efficient, presenting unnecessary expenses and damage to the environment. Aiming at to improve part of this process, the motivation for the study appeared of the behavior of some properties of the refractory and porous ceramic parts to analyze the possibility of them to be used as covering of the walls of the ovens of the plants, with the objective to improve the thermal isolation of the environment and to diminish the amount of energy used in the burning process. In the development of the porous matrix a composition of clay and sand was used, in ratio 2:1 with wooden dust addition in ratios 0%, 10% and 20% in relation to the total volume of the composition. All the parts had been elaborated by the method of drawing, forest fires in the temperatures 950°C, 1050°C and 1200°C and submitted to the humidity text assays, linear retraction of drying, loss of mass to the fire, linear retraction of burning, real specific mass, apparent porosity, water absorption, real density and resistance to the flexão. Analyzing the results, one concluded that a viable possibility of the exploitation of the substances exists cousins used in the process of manufacture of the refractory and porous parts ceramic for desired end.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação

A engenharia civil faz o uso de vários materiais entre os recursos naturais existentes. Neste contexto o que possui a maior diversidade de aplicações é o solo. De acordo com Caputo (1988), os solos são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas por desintegração mecânica ou decomposição química. Por desintegração mecânica, através de agentes como água, temperatura, vegetação e vento, formam-se os pedregulhos e areias que são os solos de partículas grossas e até mesmo os siltes que são as partículas intermediárias, e, somente em condições especiais, as argilas que são as partículas finas. Por decomposição química entende-se o processo em que há modificação química ou mineralógica das rochas de origem, sendo o principal agente a água e os mais importantes mecanismos de ataque são a oxidação, hidratação, carbonatação e os efeitos químicos da vegetação. As argilas representam o último produto do processo de decomposição.

A grande maioria das obras da engenharia civil, tais como, barragens, pontes, estradas, edificações residenciais e canais, encontram-se dispostas sobre algum tipo de solo, além de utilizá-los como importante material de construção, principalmente nos processos industriais. Segundo Fellenberg (1980), o homem consegue transformar matérias primas que encontra na natureza, de modo a torná-las úteis para si, seja como ferramentas ou máquinas, ou como quaisquer bens de consumo.

É de fundamental importância a utilização do solo, como recurso natural para o desenvolvimento tecnológico em busca da satisfação de nossas necessidades. Daí

surge à motivação para dominar o conhecimento e poder aplicar a ciência na transformação desse recurso, de maneira eficiente e econômica.

É indispensável para a indústria contemporânea apropriar-se de materiais cerâmicos adequados às suas demandas de produção. Cada vez mais a sociedade exige produtos que facilitem o bem estar e o conforto das pessoas, e isto passa obrigatoriamente pela conquista de novos materiais compatíveis com as condições de vida em um mundo envolto por economias globalizadas que dependem de altas tecnologias. Classificar e analisar materiais fartos na nossa natureza é um bom caminho para atender as expectativas desse interesse mundial.

As técnicas de produção de pós-cerâmicos, processos físicos, químicos ou mecânicos, são muito extensas e estão intimamente relacionadas com as propriedades físico-químicas do material a ser processado, além daquelas propriedades a serem adquiridas pelas partículas do pó, tais como, tamanho, forma, distribuição de tamanho, densidade e superfície específica. O controle sistemático da técnica de produção do pó cerâmico é um fator extremamente importante, uma vez que, em última instância, influencia uma série de propriedades no sintetizado, além de também ser empregado como meio de caracterização do mesmo.

O interesse por um material cerâmico com ou sem porosidade depende basicamente do seu uso. Esse conhecimento é essencial ao desenvolvimento de tecnologias atuais como, por exemplo, as envolvidas com as aplicações de cerâmicas nas áreas de isolamento térmica, de corrosão, de condução da luz, de semicondutores, entre outras.

Os materiais cerâmicos semicondutores e as cerâmicas utilizadas para a realização de implantes ósseos requerem baixa porosidade. Em muitos processos industriais necessita-se de materiais com alta porosidade. Entre muitas aplicações tem-se a da utilização desses materiais como isolantes térmicos. Como se observa, existe

uma variedade de utilizações para os materiais cerâmicos, notadamente quando se referem ao aspecto poros.

Para se obter materiais cerâmicos com um número de poros mais elevados, inúmeros processos podem ser utilizados, entre os quais o método de incorporação de produtos orgânicos. Esse processo parte do princípio de que o material cerâmico com a adição de matéria orgânica quando queimado em altas temperaturas, perde esse material, ficando no seu lugar poros de mesmo tamanho e de mesma forma.

Entre as propriedades das cerâmicas porosas, merece destaque a resistência mecânica, visto que, à medida que se aumenta o número de poros, aumenta, também, o número de concentrações de tensões, produzindo uma menor resistência do material.

Pesquisas que tratam do assunto relacionado com cerâmicas porosas, são bastante limitadas ou praticamente inexistente. Recentemente, uma pesquisa desenvolvida por Dutra 2002, mostrou o desenvolvimento de uma matriz de cerâmica porosa a partir de uma determinada argila com a adição de pó de madeira, comprovando-se ser esse composto um bom isolante térmico.

No interesse de elaborar estudos com vistas ao desenvolvimento de material cerâmico refratário com adição de pó de madeira para fins de uso como produto de alto isolamento termo-elétrico, objetiva-se nesta dissertação se caracterizar a argila de jazidas do leste da Paraíba como apropriadas para a fabricação de cerâmicas porosas pelo método da incorporação de produtos orgânicos. Como se sabe, a cerâmica refratária é um material cerâmico que, sob altas temperaturas (acima de 1200°C), não apresenta alteração em suas características físicas e químicas, ou seja, um material resistente a altas temperaturas. O objetivo básico de se utilizar o método de incorporação de produtos orgânicos em uma cerâmica refratária tem como finalidade melhorar o isolamento termo-elétrico desse material.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Esta dissertação, intitulada “Estudo de Argilas da Região Leste da Paraíba para Elaboração de Cerâmicas Refratárias com a Incorporação de Pó de Madeira”, tem como objetivo principal estudar o comportamento de peças cerâmicas porosas e refratárias, fabricadas a partir de uma determinada argila da região leste da Paraíba, incorporado ao pó de madeira.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar uma argila refratária com a finalidade de desenvolver um material cerâmico refratário.
- Desenvolver pelo método de incorporação de uma material orgânico uma cerâmica porosa, variando o percentual de material orgânico utilizado.
- Analisar, de acordo com a quantidade de material orgânico utilizado, as propriedades físicas do material desenvolvido.
- Comparar os resultados dessa dissertação com os obtidos por Dutra (2002).

1.3. Organização da Dissertação

Esta dissertação é constituída por sete capítulos. No primeiro capítulo faz-se uma introdução geral do tema e suas motivações, sendo inseridos também os objetivos da pesquisa e a estrutura do trabalho. No capítulo 2 está descrita a revisão bibliográfica na qual procura-se mostrar algumas definições sobre o tema abordado e um pouco sobre a teoria dos assuntos relacionados à dissertação. A metodologia, que envolve materiais e métodos empregados na realização do trabalho, é mostrada no capítulo 3. Neste capítulo, são apresentados as variáveis da pesquisa, os ensaios de caracterização e tecnológicos utilizados na avaliação das propriedades das cerâmicas porosas. O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos através dos ensaios descritos no capítulo anterior, além de discutir os resultados de cada ensaio realizado. As principais conclusões são apresentadas no capítulo 5. No capítulo 6 são enumeradas algumas sugestões para futuros trabalhos. Em seguida, no capítulo 7 são relatadas as referências bibliográficas e as normas técnicas, em ordem alfabética, que foram utilizadas para a realização do presente trabalho.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução

O objetivo desta revisão bibliográfica é fazer uma abordagem sobre os assuntos relacionados com o desenvolvimento desta pesquisa, principalmente, apresentando pontos relevantes já realizados no campo da fabricação de material cerâmico poroso, através da metodologia de incorporação de produtos orgânicos.

Inicialmente será feita uma descrição da caracterização de uma argila, seguido de um relato sobre materiais utilizados na engenharia, com ênfase nos materiais cerâmicos. Posteriormente serão abordados temas como o histórico da cerâmica, a cerâmica como um setor da tecnologia, dando destaque a alguns conceitos importantes, as propriedades das argilas relacionadas com suas aplicações e a geologia da região em estudo.

2.2. Caracterização e Conceitos sobre o que é uma Argila

Baseado no significado acadêmico, econômico e social que o tema dessa dissertação oferece à comunidade regional, apresenta-se aqui um levantamento de algumas jazidas de argilas da região do meio-leste paraibano, com as suas respectivas caracterizações físico-químicas e mecânicas, disponibilizando uma metodologia de procedimentos e análises configurada dentro dos rigorosos padrões exigidos do fazer científico.

Concorda-se com Albuquerque (1999) quando afirma que “caracterizar uma argila, especialmente visando seu uso tecnológico, é conhecer a variabilidade de suas propriedades, o que não é um problema simples, pois se necessita não só do emprego de técnicas comuns como a medição das propriedades físicas-mecânicas como também de técnicas mais complexas e até de técnicas sofisticadas como a microscopia eletrônica de transmissão ou de varredura de difração de raios-x e análise térmica diferencial ”.

De modo que o trabalho de caracterização de uma argila exige o domínio de técnicas e de equipamentos – alguns com alta tecnologia agregada, disponível somente nos bons laboratórios especializados, mas que com esforço e o apoio dos técnicos e pesquisadores do Centro de Ciências e Tecnologia da UFCG e do Centro de Tecnologia da UFPB, tornou-se possível fazer a coleta das amostras e o levantamento adequado e preciso dos dados que possibilitaram as necessárias e conclusivas análises aqui contidas.

De acordo com Grim (1968) a argila é um material terroso de granulação fina, que misturado com água adquire um certo teor de plasticidade. A vista da conceituação geológica entende-se que a argila é o constituinte dos sedimentos geológicos com particulometria abaixo de 4 microns. Enfocando os aspectos químicos e mineralógicos a literatura especializada considera que as argilas são constituídas essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio.

O *Comitê Internacional para o Estudo das Argilas* considera que os argilominerais cristalinos são silicatos hidratados de reticulado ou rede cristalina em camadas ou de estrutura fibrosa, constituídos por folhas planas ou camadas de tetraedros SiO_4 , em forma hexagonal condensados com folhas ou camadas octaédricas e que são constituídos por partículas de pequenas dimensões.

A conceituação de Souza Santos (1975) sobre argila estabelece: a argila é uma rocha finamente dividida, constituída essencialmente de argilominerais, podendo conter minerais que não as argilominerais (calcita, dolomita, gibsita, quartzo e outros), matéria orgânica e outras impurezas, e se caracteriza por :

- a) ser constituída essencialmente por argilominerais geralmente cristalinos ;
- b) possuir elevado teor de partículas de diâmetro equivalente a 2 microns (cristobalita) ocorre nas bentonitas com diâmetro abaixo de 1 micron;

- c) quando pulverizada e umedecida torna-se plástica, após secagem é dura e rígida e após queima em temperatura elevada adquire a dureza do aço;
- d) possuir capacidade de troca de cátions entre 3 e 150 meq/100g (ácidos orgânicos apresentam capacidade de troca dentro dessa faixa).

As indústrias cerâmicas de um modo geral, no seu processo produtivo, utilizam matérias primas provenientes de sedimentos argilosos e/ou alterações de minerais formadores de rochas. Trata-se, portanto, de um material com alto grau de heterogeneidade tanto do ponto de vista mineralógico quanto em relação ao grau de alteração dos seus minerais, dificultando sobremaneira a previsão do comportamento mecânico do produto final (por exemplo: tijolos e telhas). Uma prática que é comumente adotada durante a confecção de peças cerâmicas é a mistura de diferentes tipos de solo, realizada muitas vezes, de maneira intuitiva e empírica, onde as características do produto são fortemente dependentes das proporções usadas nessas misturas. Prever o comportamento de artefatos cerâmicos baseando-se nas propriedades mineralógicas de seus constituintes pode vir a se constituir em uma importante ferramenta na busca da qualidade de peças cerâmicas vermelhas.

A maioria das olarias e cerâmicas do estado da Paraíba usa argilas sem o conhecimento de suas características cerâmicas, e não dispõe de condições para efetuar um processamento adequado das matérias-primas empregadas na manufatura de tijolos, blocos cerâmicos, telhas e componente de lajes, entre outros. Daí existir no mercado da cerâmica vermelha, no estado da Paraíba, produtos de baixa qualidade que apresentam defeitos de formas, com texturas alteradas e muitos com baixíssimas resistências mecânicas.

Caracterizar uma argila, especialmente visando seu uso tecnológico, é conhecer a variabilidade de suas propriedades, o que não é um problema simples, pois se necessita não só do emprego de técnicas comuns como a medição das propriedades físico-mecânicas como também de técnicas mais complexas e até de técnicas sofisticadas como a microscopia eletrônica de transmissão ou de varredura de difração de raios-x e análise térmica diferencial. Esta conceituação é definida por Albuquerque (1999) em sua dissertação de mestrado.

A cerâmica é hoje um campo especial da ciência dos materiais (materials science); a cerâmica pode ser definida de várias maneiras, conforme a atitude de quem a define. Assim, no catálogo de cursos de cerâmica de uma universidade norte-americana é dito que o ceramista trabalha com todo o mineral não-metálico insolúvel encontrado na crosta terrestre e com todos os compostos inorgânicos insolúveis e não-metálicos que o homem já sintetizou; assim, cerâmico seria um ramo da Química Inorgânica, que trata dos compostos formados em temperatura elevada. Por outro lado (Bradstreet, 1958), cerâmica é definida como sendo o ramo da indústria em que “minerais de composição inconstante e pureza duvidosa são expostos a temperatura mal definidas, durante períodos de tempo que fazem reações desconhecidas ocorrerem de forma incompleta, formando produtos heterogêneos e não-estequiométricos, conhecidos com o nome de materiais cerâmicos”.

Engenharia cerâmica é o ramo da engenharia que trata principalmente da criação, desenvolvimento, produção, ensaio, avaliação, aplicação e conhecimento dos materiais ou produtos cerâmicos. Portanto, a engenharia cerâmica trata especificamente da: a) natureza e comportamento das matérias-primas cerâmicas; b) estrutura e composição dos materiais cerâmicos; c) natureza e comportamento dos materiais cerâmicos processados; d) utilização prática dos materiais cerâmicos processados.

Ao fazer a escolha de um determinado material, deve-se levar em conta várias propriedades fundamentais, tais como: resistência mecânica, condutividade elétrica e/ou térmica, densidade entre outras. Além disso, deve-se considerar o comportamento do material durante o processamento e uso, onde plasticidade, durabilidade química, estabilidade elétrica são importantes, assim como custo e disponibilidade. Deste modo, para satisfazerem as necessidades atuais das indústrias e dos consumidores, cientistas e engenheiros tentam desenvolver novos materiais com propriedades específicas para determinada aplicação. Neste importante grupo, estão os chamados materiais compósitos, os quais, segundo Jones (apud Navarro, 2001), é o resultado da combinação entre dois ou mais materiais em escala macroscópica com o objetivo de formar um material utilizável.

As propriedades refratárias de certas argilas, isto é, sua capacidade de suportar, sem amolecer, de formar fragmentos ou fundir, a exposição contínua a temperaturas elevadas e a condições corrosivas, têm sido exploradas desde os mais antigos tempos em fogões, fornalhas e fornos, especialmente pelo ceramista e pelo metalurgista. Tijolos refratários feitos com argilas (refratários sílico-aluminosos) dependem, em suas

características para o uso corrente, da sua composição química (teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O e K_2O), geralmente especificado pelo teor de Al_2O_3 que está entre 30% e 40% e dos outros componentes; são geralmente utilizados em temperaturas não muito acima de 1400°C , geralmente entre 1100°C e 1450°C . A produção de materiais refratários constitui o terceiro ramo da cerâmica, que é considerado a espinha dorsal da indústria de um país (Budnikov, 1964, Jourdain 1968).

Os tecnólogos cerâmicos e os especialistas em ciência dos materiais têm um campo em comum no estudo do comportamento dos materiais cerâmicos. Contudo, o tecnólogo cerâmico possui uma compreensão mais profunda das propriedades e da utilização dos materiais cerâmicos e dos aspectos da engenharia de processamento das matérias-primas em produtos cerâmicos possuindo composição química e estrutura controladas.

A produção de materiais cerâmicos compreende uma seqüência de etapas de manufatura para o processamento de sólidos e líquidos, sendo que, pelo menos, uma das etapas consiste em fazer que ocorram reações em temperaturas elevadas para que os produtos cerâmicos adquiram as propriedades úteis desejadas. As principais etapas no processamento de materiais cerâmicos podem ser agrupadas da seguinte forma: (I) preparação das matérias primas; (II) conformação (formação ou moldagem) e fabricação; (III) processamento térmico; (IV) acabamento. O processamento térmico caracteriza e é de fundamental importância para a produção dos materiais cerâmicos, contudo, processamentos mecânicos, elétricos, magnéticos e químicos são complementares e muito importantes. O conhecimento dos processos e do comportamento das matérias-primas durante os mesmos é vital para o desenvolvimento de novos processos e de novos materiais cerâmicos.

2.2.1. Propriedades e Conceitos dos Principais Argilominerais.

- A) **Caulinita** – é um mineral branco de partículas cristalinas em placas hexagonais, correspondendo à fórmula química $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, acusando na análise térmica diferencial, um pico endotérmico a 550°C devido à desidratação da molécula e um exotérmico a 980°C devido à formação da mulita. Estruturalmente é composto de camadas de silicato formado de um andar de tetraedros de silício e oxigênio e outro de octaedros de alumínio e hidroxilas unidas por fracas ligações de hidrogênio.

- B) **Alofano** – é um termo já em desuso para indicar argilas amorfas, altamente hidratadas, facilmente atacadas pelos ácidos, apresentando semelhanças com as argilas do grupo da montmorilonita.
- C) **Montmorilonita** – é um mineral hidratado de partículas muito finas, de fórmula teórica $4\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, entre as várias admitidas, mas apresentando composição muito variável pela facilidade de substituição na rede espacial, podendo conter também FeO, CaO, Na₂O e K₂O.

Entre 100°C e 200°C perde água de interposição entre as camadas de silicato. É constituída por camadas de octaedros de alumínio e hidroxilas entre duas camadas de tetraedros de silício e oxigênio.

As bentonitas são formadas essencialmente de montmorilonita sódica. O nome bentonita abrange argilominerais de estruturas semelhantes às micas, sendo características expansionais da rede cristalina. É um produto de alteração das micas, contendo menos potássio e pouco mais água. Compreende produtos de fórmulas complexas que se referem a minerais semelhantes à sericita, moscovita e biotita. O termo illita não corresponde a um produto específico, mas um conjunto de minerais ainda pouco conhecido (Abreu, 1960).

- D) **Vermiculita** – é um silicato altamente hidratado de alumínio e magnésio (podendo conter cálcio e níquel) com clivagem paralela, apresentando-se em placas hexagonais, tendo duas reações iniciais, com picos entre 150°C e 200°C, seguida imediatamente por outro menor, a 250°C-275°C, ambos referentes à perda de água intersticial.

A fórmula atribuída à vermiculita é $4\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 6\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$.

Não tem o aspecto comum das argilas com sua fácil dispersão em água. Pode ser considerada com formada de camadas de mica separadas por moléculas de água, daí a sua propriedade de expandir-se pelo aquecimento até expulsar a água, tornando-se material altamente poroso e conseqüentemente de alto poder isolante quanto ao som e ao calor, assemelhando-se às micas, pela fácil clivagem paralela.

- E) **Clorita** – foi o nome usado inicialmente para indicar um grupo de silicatos hidratados de cor verde, com predominância de ferro ferroso e também relacionados muito estreitamente com as micas. Segundo Grim (1962) as cloritas são estruturalmente interstratificações de camadas simples de biotita e brucita.

F) **Sepiolita, Atapulgita e Paligorsquita** – são argilominerais magnesianos ainda pouco caracterizados. Sepiolita é o material terroso ou fibroso formado de silicatos de magnésio hidratado – $2\text{MgO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2$ ou $4\text{H}_2\text{O}$).

Atapulgita é um silicato de magnésio altamente hidratado onde o magnésio em grande parte é substituído por alumínio; estruturalmente apresenta cadeias de óxido de silício em disposição similar a dos anfíbios.

Paligorsquita representa uma família de hidro-silicatos de estrutura fibrosa formando séries isomórficas entre dois membros limites: um limite aluminoso denominado para-montmorilonita, diferenciando-se da montmorilonita clássica pelo caráter fibroso e um limite magnésiano que é a sepiolita. As estruturas da paligorsquita-sepiolita tem sido assemelhadas ora a dos anfíboles, ora a das micas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	46,90	44,75	51,14	44,00	26,68	34,04	54,83	51,17	55,03
Al ₂ O ₃	37,40	36,94	19,76	10,60	25,20	15,37	0,28	13,73	10,24
Fe ₂ O ₃	0,65	0,31	0,83			8,01	0,45	1,55	3,53
FeO								0,31	
MgO	0,27		3,22	24,30	26,96	22,58	24,51	6,40	10,49
CaO	0,29	0,11	1,62	2,00	0,28		0,55	2,89	
K ₂ O	0,84		0,11				0,03		0,47
Na ₂ O	0,44		0,04				0,35		
TiO ₂	0,18								
H ₂ O		2,53	14,81	12,60	8,70		8,18	10,29	9,73
H ₂ O+	12,95	14,89	7,99	6,20	11,70	19,93	10,74	13,24	10,13
Total	99,92	99,53	99,52	99,70	99,52	99,93	99,92	99,58	99,62

1 - Caulinita, Macon, Georgia, EUA

2 - Halosita, Liège, Bélgica

3 - Montmorilonita, de Montmorillon, França

4 - Saponita, San Bernadino, Califórnia, EUA

5 - Clorita, Ducktown, Ten, EUA

6 - Vermiculita, Konia

7 - Sepiolita, Yavapai County, Arizona, EUA

8 - Paligorsquita, Nizhnii-Novgorod, Russia

9 - Atapulgita, Attapulgus, Georgia, EUA

Tabela 1 – Propriedades Químicas de Argilas Típicas (Ralph Grim – Clay Mineralogy. New York, 1953).

A composição química de argilas proporciona informações importantes, que auxiliam na formulação de dados para sua aplicação. De uma maneira geral, as composições químicas são interpretadas da seguinte forma:

- Perda ao fogo – Proveniente dos diversos tipos de água presentes nas argilas, matéria orgânica e componentes voláteis que também são incluídos.
- SiO_2 – A maior fração está relacionada com o SiO_2 combinado, pertencente aos argilominerais e a outra com a sílica livre, em suas diversas variedades cristalinas e amorfas. A sílica livre diminui a plasticidade e a retração das argilas, sendo que em alguns casos aumenta a refratariedade. Nesta sua ação refratária depende dos outros elementos e da temperatura de queima.
- Al_2O_3 – A maior fração está presente na forma combinada, formando os argilominerais. A alumina livre aumenta a refratariedade das argilas.
- Fe_2O_3 – Atua na coloração das argilas após a queima e diminui a refratariedade. Em teores elevados e na presença de baixas quantidades de SiO_2 ocorre formação de magnetita, causando o escurecimento do produto e não há formação de vidro.
- CaO e MgO – São fundantes e podem se apresentar externo às argilas ou como componentes de argilominerais. Bastante utilizados na formulação de massas cerâmicas para revestimentos porosos. Estes óxidos reagem com fases amorfas e formam fases cristalinas que são mais estáveis frente a ação da umidade.
- TiO_2 - Apresenta-se externo as argilas, em teores próximos a 1% é pouco reativo, não tendo influência nas propriedades das argilas quando queimadas.
- Na_2O e K_2O – São fundentes e portanto indispensáveis para a queima. Nas argilas o teor de óxido de potássio geralmente é bem superior ao do óxido de sódio. Alguns tipos de argilas como os filitos e taguas apresentam elevado teor de óxido de potássio e são bastantes utilizados no processamento de pavimentos gresificados.

2.3. Histórico sobre a Cerâmica

Não se pode determinar a época em que a cerâmica apareceu. Manifestação da inteligência e habilidade criadora do homem, este produto surgiu quando se revelaram os primeiros sonhos de espírito humano, na conquista de perspectivas capazes

de exaltar sua capacidade de empreender o trato com a natureza. Os arqueólogos admitem que a cerâmica nasceu quando o primeiro ser humano despertou sobre a terra.

A fabricação de potes é a uma das indústrias humanas mais antigas. Encontram-se louças de barro desde períodos que datam cerca de 15000 a.C., e a sua fabricação estava bastante desenvolvida no Egito, dez séculos depois.

Palavra que vem do grego “keramiké”, derivada de “keremos”; a cerâmica veio da terra, não é de ninguém, pertence a todos. Simples mistura de elementos da terra, a cerâmica legou à humanidade, além de corantes e esmaltes, verdadeiros monumentos artísticos de beleza imortal que, desafiando séculos, chegaram até nossos dias com o mesmo vigor e imponência (Pillegi, 1958).

Os materiais de cerâmica vermelha encontram-se entre aqueles mais tradicionais empregados na construção civil. Sua origem reporta-se à antiguidade, especialmente às contribuições do começo da Era Cristã, (tijolo 4500 a.C no Oriente Médio), em Roma e na China. Registra-se também seu grande desenvolvimento na Europa, no século XVII, e no fim do século XIX e começo do século XX, quando a ciência e a engenharia foram aplicadas a essa arte antiga (Norton, 1973).

Segundo Verçoza (1975) a indústria de cerâmica é uma das mais antigas do mundo, em virtude da facilidade de fabricação e abundância de matéria-prima - a argila. Já no período neolítico, o homem pré-histórico calafetava as cestas de vime com o barro. Mais tarde verificou-se que podia dispensar o vime, e fez potes apenas de barro. Posteriormente, constatou-se que o calor endurecia o barro, e surgiu a cerâmica propriamente dita, que foi largamente empregada para os mais diversos fins.

O revestimento cerâmico teve origem a partir da civilização babilônica no século VI a.C. e através dos tempos, a tecnologia de fabricação foi gradativamente ampliada e aperfeiçoada.

2.3.1. Cerâmica e Materiais Cerâmicos

A definição de cerâmica adotada pela Associação Brasileira de Cerâmica – ABC, é a seguinte: cerâmica compreende todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos, geralmente, após tratamento térmico em temperaturas elevadas. No Brasil, convencionou-se definir os materiais cerâmicos em segmentos que se diferenciam pelos produtos obtidos, propriedades e área de utilização. Desta forma, os produtos

cerâmicos costumam ser divididos em dois grandes grupos: as cerâmicas tradicionais e as cerâmicas avançadas.

As cerâmicas tradicionais, também conhecidas como convencionais ou clássicas, são fabricadas a partir de matérias-primas naturais, dentre as quais incluem argilas, quartzo, feldspatos e dolomita. No grupo das cerâmicas tradicionais merecem destaque as cerâmicas vermelhas, brancas, refratárias e as de revestimento. Por sua vez, as cerâmicas avançadas são aquelas que exigem do produto propriedades específicas e são fabricadas a partir das matérias-primas beneficiadas ou sintéticas, podendo ser classificadas como mecânica, térmicas, nucleares, entre outras. A Tabela 2 é uma adaptação do texto de Pizarro (1922), que foi discutida anteriormente.

Cerâmicas	Área	Produtos ou Propriedades
Tradicionais	Estruturais (vermelha)	Tijolos, telhas, manilhas, lajotas
	Branca	Louças de mesa, louças decorativas
	Revestimento e sanitárias	Ladrilhos, pisos, azulejos, pastilhas
	Refratárias	Tijolos e peças refratárias
	Abrasivas e de corte	Rebolos, lixas, ferramentas de usinagem
	Elétricas	Isoladores de porcelana para linhas elétricas e buchas para transformadores
	Artísticas	Objetos de decoração e adornos
	Cimento, gesso e cal	Pó de cimento, gesso e cal, blocos e vigas de concreto
	Fritas, vidrados, pigmentos e corantes	Usados em todos os tipos de cerâmica
	Vidros	Vidros planos, garrafas, copos, vasos
Avançadas	Térmicas	Com aplicações em isolamento térmica, absorção de calor, etc.
	Mecânicas	Exibem alta resistência mecânica, resistência à abrasão, baixa expansão térmica, etc.
	Nucleares	Empregadas por resistirem bem à radiação, a corrosão e a altas temperaturas
	Ópticas	Usadas na condução da luz, fluorescência, translucidez e polarização óptica
	Eletrônicas	Com aplicações em semicondutores, supercondutores, magnetismo e piezoelectricidade
	Químicas	Que apresentam biocompatibilidade, poder de catálise, capacidade de absorção, resistência à corrosão, etc.

Tabela 2 – Adaptação do texto de Pizarro (1922)

2.3.2. A Cerâmica no Brasil

Pillegi (1958) classifica a história da produção de cerâmica no Brasil em três períodos, a saber:

2.3.2.1. Período Pré-Cabraliano

Apesar das investigações feitas por muitos ceramógrafos, não é possível precisar com segurança a região exata em que se fabricaram peças de cerâmicas pela primeira vez no Brasil. Há registros de que índios Aruaques, por volta de 1541, no norte do território brasileiro no alto e médio Amazonas, teriam iniciados alguns trabalhos com cerâmica na região pois nessa redondeza há referências de olarias.

2.3.2.2. Períodos Colonial e Imperial

A história da manufatura de cerâmica nos períodos colonial e imperial é pobre, isenta de qualquer fator de maior importância, salvo aquele da fabricação da louça de barro para uso doméstico, ou da olaria para construção, pois a argila encontrada em nossos solos era de boa qualidade.

Em 1793, o químico e mineralogista, professor de humanidades no Rio de Janeiro e na Bahia, João Manso Pereira, fabricou vasos com argilas do país.

2.3.2.3. Período Contemporâneo

Na Europa, quase todos os países possuem sua indústria própria, bastante desenvolvida, com características peculiares à tradição ou à época atual.

Nas Américas, depois dos Estados Unidos e do Brasil, os países onde a cerâmica tem-se desenvolvido mais são o Canadá, o México, a Argentina, o Chile, o Peru, a Colômbia e Venezuela.

No Brasil, depois da segunda guerra mundial, a indústria cerâmica alcançou surpreendente desenvolvimento, graças à riqueza de nosso solo, de onde extraímos todas as matérias-primas essenciais a esse ramo, e graças ao aperfeiçoamento técnico já alcançado.

A cerâmica vermelha para construção tem experimentado grandes progressos no Brasil, centralizando no Estado de São Paulo sua maior produção. Na indústria cerâmica de construção, deve-se distinguir dois ramos distintos, o da olaria, que compreende a fabricação de tijolos e telhas comuns, e o da grande cerâmica, ou cerâmica para construções, que fabrica tijolos prensados, tijolos furados, ladrilhos, telhas prensadas, refratários, lajes, manilhas e tubos.

Com referência a indústria de cerâmica para revestimento no Brasil, ela surgiu a partir de antigas fábricas de tijolos, blocos e telhas de cerâmica, que já no início de século XX começaram a produzir ladrilhos hidráulicos e, mais tarde, pastilhas cerâmicas e de vidro.

Durante muitos séculos o revestimento cerâmico foi sinônimo de produto luxuoso, após a Segunda Guerra Mundial, a produção de placas cerâmicas para revestimento apresentou um desenvolvimento industrial considerável, com o surgimento de novas técnicas de produção. A fabricação em escala industrial reduziu os preços dos produtos, possibilitando o acesso para grande parte da população.

A indústria brasileira de revestimentos investiu em novas tecnologias a partir do início da década de 90, preparando-se para concorrência internacional promovida pela abertura da economia. Atualmente o Brasil é o quarto produtor mundial de cerâmica para revestimento, depois da China, Itália e Espanha.

2.3.3. Utilização Industrial das Argilas

As argilas são matéria prima para aproximadamente meia centena de produtos industriais cerâmicos e não cerâmicos; o estudo de argilas visando sua utilização industrial constitui o objetivo de Tecnologia de Argilas, que é a aplicação dos conhecimentos fundamentais sobre a estrutura e as propriedades físico-químicas das argilas e dos argilominerais, às indústrias artes e profissionais que trabalham com argilas como matéria prima (Souza Santos, 1975).

Sendo as argilas, na natureza, de dimensões coloidais, diferenças apreciáveis existem nas propriedades físico-químicas, tais como a capacidade de troca de cátions, natureza dos cátions trocáveis, distribuição granulométrica das partículas, área específica, potencial eletrocinético, viscosidade de suspensões, plasticidade e outras. Essas diferenças levam a propriedades tecnológicas diversas para as indústrias de

cerâmica, indústria química, papel, borracha, metalúrgica, de petróleo, agrícola, entre outras.

Desta forma, vemos que não é possível descrever uma argila por um número pequeno de propriedades. Geralmente são os seguintes os fatores que controlam, as propriedades que uma determinada argila possui (Grim, 1962):

- A composição mineralógica dos argilominerais qualitativa e quantitativa, e distribuição granulométrica das partículas.
- A composição mineralógica dos não-argilominerais, qualitativa e quantitativamente, e a distribuição granulométrica das partículas.
- Teor em eletrólitos, quer de cátions trocáveis, quer de sais solúveis, qualitativa e quantitativamente.
- Natureza e teor de componentes orgânicos
- Características texturais da argila, tais como forma dos grãos de quartzo, grau de orientação ou paralelismo das partículas dos argilominerais, silificação e outros.

Ferreira(1972) fez um estudo de classificação tecnológico operacional para usos industriais de argilas englobando os principais usos industriais existentes, conforme mostra a Tabela 3.

<i>Grupos</i>	<i>Subgrupos</i>	<i>Usos industriais das argilas</i>
Argilas cerâmicas	SG1 - Argilas para cerâmica vermelha SG2 - Argilas para cerâmica branca SG3 - Argilas para materiais refratários	U1 - Argilas para tijolos maciços e furados U2 - Argilas para telhas U3 - Argilas para manilhas U4 - Argilas para ladrilhos de piso U5 - Argilas para agregados leves U6 - Argilas para vidrados e esmaltes U7 - argilas para grés sanitário U8 - Argilas refratárias ligantes e para obtenção de chamotas
Argilas como carga em produtos industriais	SG4 - Argilas como carga ativa SG5 - Argilas como carga inerte	U9 - Argilas como carga ativa para borracha U10 - Argilas como carga ativa para plásticos U11 - Argilas para cobertura de papéis U12 - Argilas como carga ativa para adesivos e colas U13 - Argilas como diluentes para inseticidas U14 - Argilas como carga inerte para borracha U15 - Argilas como carga inerte para papel U16 - Argilas como carga inerte para cobertura de sementes U17 - Argilas como carga inerte para linóleo e oleados
Argilas como agente de emulsão, estabilização e suspensão	SG6 - Argilas como agente de emulsão, estabilização e suspensão para produtos de utilização direta pelo homem SG7 - Argilas como agente de emulsão, estabilização e suspensão para produtos industriais SG8 - Argilas como agente de suspensão	U18 - Argilas para usos medicinais e farmacêuticos U19 - Argilas para cosméticos e produtos de toucador U20 - Argilas para rações alimentares U21 - Argilas como agentes de emulsão e estabilização de produtos industriais U22 - Argilas utilizadas na indústria de couro U23 - Argilas de sabões e outros detergentes U24 - Argilas para limpadores e polidores U25 - Fluidos para perfuração de poços de petróleo
Argilas descorantes	Não é adequada a divisão em subgrupos	U26 - Argilas descorantes para óleo minerais, vegetais e animais U27 - Argilas descorantes para água, vinhos, licores e produtos similares U28 - Argilas descorantes para papéis e produtos têxteis U29 - Argilas para rejeição de resíduo radioativo e limpeza em geral
Argilas como ligantes	Não é adequada a divisão em subgrupos	U30 - Argilas ligantes para fabricação de minas de lápis U31 - Argilas aglomerantes de areias de moldagem para fundição U32 - Argilas ligantes para pelotização de minérios
Argilas para engenharia civil	Não é adequada a divisão em subgrupos	U33 - Argilas para pozolanas U34 - Argilas para impermeabilização U35 - Argilas plastificantes
Argilas para produtos químicos	Não é adequada a divisão em subgrupos	U36 - Argilas para fabricação de catalisadores silico-aluminosos U37 - Argilas para fabricação de tintas U38 - Argilas para fabricação de cimentos U39 - Argilas para fabricação de ultramarinas U40 - Argilas para fabricação de alumina e alumínio U41 - Argilas para fabricação de zeólitas U42 - Argilas para fabricação de graxas lubrificantes U43 - Argilas para fabricação de alsifims U44 - Argilas para fabricação de fertilizantes e adubos

Tabela 3 – Classificação Tecnológica Operacional para usos Industriais de Argilas (Ferreira, 1972)

As argilas como vemos têm um vasto campo de aplicações, desde o barro bruto impuro até as mais finas qualidades fornecidas pelas usinas de beneficiamento com purezas garantidas por análises químicas, exames físicos e controles eletrônicos. As grandes aplicações industriais das argilas podem ser resumidas nas mencionadas a seguir:

1. **Cerâmica** – Usa-se a argila para a fabricação de cerâmica vermelha como tijolos comuns, maciços ou furados, telhas, ladrilhos cerâmicos, manilhas, etc. São empregadas para esse fim as argilas da decomposição *in loco* das rochas granito-gnaissicas e as tabatingas das baixadas aluvionais. A cerâmica branca requer argila pura, praticamente isenta de ferro, encontrado emprego nela os caulins de jazidas primárias (pegmatitos decompostos) ou de depósitos secundários (caulins sedimentares).
2. **Cimento** – A argila usada é para fornecer a sílica, a alumina e o ferro, para a formação dos constituintes essenciais do cimento Portland; o silicato bi-cálcico, o silicato tri-cálcico, o aluminato tri-cálcico e o ferro-aluminato tetra-cálcico.
3. **Sondagens de petróleo** – No sistema de sondagem hoje universalmente adotado, usa-se uma lama preparada convenientemente para exercer quatro funções. 1º - lubrificar e resfriar a broca no atrito contra as camadas do subsolo; 2º - servir de fluido transportador dentro do poço, dos fragmentos de rochas destacados; 3º - servir de tampão para evitar jorro de petróleo ao atingir um horizonte petrolífero; 4º - servir de escoramento para evitar o desmoronamento das paredes do poço, antes da descida do revestimento de aço.
4. **Refinação de óleos** – Usam-se para esse fim as argilas dotadas de propriedades descorantes e desodorantes, que são as de estrutura montmoriloníticas.
5. **Indústria de papel** – Usa-se caulim de elevado grau de pureza como carga e como acabamento de certos tipos de papel, principalmente papéis para impressão aonde a proporção de caulim chegam a ser da ordem de 5%.
6. **Indústria de Borracha** – Usam-se argilas especiais e caulins para servir de carga e fortalecimento da borracha manufaturada, entrando em algumas composições até 20% de argila.

7. **Inseticidas** – Para a diluição de inseticidas sólidos empregam-se certos materiais que proporcionam grande superfície para suportar inseticidas e facilitam a sua disseminação por meio de polvilhamento.

O grande número de usos industrial das argilas é consequência de um conjunto de fatores que são específicos para as argilas e que outras rochas ou minerais não os possuem simultaneamente. Esses fatores são os seguintes:

- As argilas são constituídas por argilominerais, os quais compreendem vários grupos, que incluem diversas espécies mineralógicas;
- As diversas espécies mineralógicas apresentam composições químicas diferentes, quer devido às estruturas cristalinas (silicato de alumínio e/ou magnésio hidratado), quer devido às substituições isomórficas (por exemplo, Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , H_3O^+ , Fe^{3+} , Al^{3+});
- As diversas espécies mineralógicas apresentam propriedades físico-químicas variando numa faixa ampla de valores (por exemplo, capacidade de troca de cátions entre 3meq/100g e 150meq/100g), baixa granulometria (passam totalmente em peneira USS nº 325 de 44 μm de abertura), forma anisotérmica das partículas (lamelas ou tubular-fibrilar) com relação diâmetro/ espessura (placas) ou comprimento/ diâmetro (fibras) variando numa faixa ampla de valores;
- As argilas são rochas naturalmente subdivididas, isto é, não precisam ser moída para se obter a individualização das partículas já naturalmente menores que 44 μm ; é necessária apenas uma desagregação que é muito mais barata que a moagem, como, por exemplo, a de um calcário para a fabricação de cimento Portland. Daí resulta que as argilas têm a área da superfície externa das partículas muito grande, levando a valores da área específica que somente se encontram em produtos industriais caros, como negros-de-fumo e catalisadores.
- As argilas, sendo produto de alteração de rochas por ação de intemperismo deutérico ou hidrotermal e depois transportadas, são constituintes de

sedimentos flúvio-lacustres, por isso estão freqüentemente próximas às comunidades humanas atuais: isto é, de forma simples, onde há água superficial, há argilas em quantidade.

- As indústrias químicas de processo exigem matéria-prima de propriedade as mais constantes possíveis (isto é, com pequeno desvio-padrão em torno da média aritmética), ora, as argilas podem ocorrer em depósitos grandes e bastante homogêneos, apesar da possível variabilidade em propriedades, as impurezas (são geralmente minerais detritais) são facilmente separáveis (para um dado custo de produção) porque têm, geralmente, uma granulometria bastante acima da peneira nº 325;
- As argilas são facilmente dispersáveis em água (e em outros solventes) podendo dar suspensões quer instáveis, quer estáveis, com uma faixa ampla de propriedades reológicas.

Esse conjunto de propriedades torna as argilas matérias-primas com amplas possibilidades de aplicação industrial, além de ser abundante e geralmente próxima a agrupamentos humanos e possuir granulometria extremamente fina ou elevada área específica, com custo de aquisição muito baixo (Souza Santos, 1975).

Para industrialização de matérias primas não-metálicas, como é o caso de argilas, deve ser seguido uma seqüência de operações concatenadas, compreendendo as seguintes etapas:

- Identificação de ocorrências
- Identificação de uma ou mais jazidas nas ocorrências viáveis
- Produção em escala piloto
- Implantação da indústria

Com os dados da amostragem encaminhados ao laboratório, realizar-se-ão os ensaios científicos e tecnológicos, com a finalidade de caracterizar científica e tecnicamente uma amostra de argila, através de uma seqüência de ensaios específicos, procurando determinar sua provável adequabilidade para determinados usos industriais.

2.4. Cerâmica como um Setor da Tecnologia

2.4.1. Conceitos

Inicialmente será estabelecido um conjunto de definições de termos relativos aos estados de subdivisão da matéria, conjunto esse baseado na terminologia ASTM, E20-51T.

2.4.1.1. Partícula

O termo “partícula” é geralmente utilizado para indicar uma unidade de subdivisão da matéria ou, em outras palavras, o termo “partícula” é a unidade usual de trabalho para descrever matéria subdividida. Examinando partículas diferentes (pós, cristais, átomos, elétrons, nêutrons, prótons, fótons), observa-se uma enorme variação nas dimensões das várias partículas consideradas. Assim, o termo “partícula” não é caracterizado pelas dimensões geométricas das unidades em que a matéria foi subdividida, sendo preferível ser definido em função das forças coesivas que formam a unidade individual (Souza Santos, 1975).

2.4.1.2. Agregado

Um agregado é uma partícula ou um conjunto de partículas ligadas entre si por forças coesivas muito fortes, de origem atômica, intramolecular ou intermolecular. O agregado é estável frente ao manuseio normal e a técnicas de dispersão normal, como dispersão em altas velocidades ou por ultra-sons. As dimensões de um agregado sólido são controladas pelo crescimento de cristais, fusão ou por coalescência de partículas menores. As dimensões de um agregado são normalmente diminuídas pela moagem e aumentadas pela fusão (Souza Santos, 1975).

2.4.1.3. Aglomerado

Um aglomerado é constituído por duas ou mais partículas (ou agregados) mantidas juntas por forças coesivas fracas; freqüentemente, essas forças são devidas às forças eletrostáticas superficiais geradas durante operações de manuseio ou de processamento. Nessas condições, diminuindo o diâmetro das partículas, aumenta a densidade de carga elétrica superficial e, portanto a força interparticular, aumentando assim a aglomeração das partículas ou dos agregados (Souza Santos, 1975).

2.4.1.4. Partícula Mínima

Define-se “partícula mínima” (ultimate particle) de uma substância sólida o menor grau de sua subdivisão que retém todas as suas propriedades físicas e químicas, podendo funcionar como unidade cinética independente; por exemplo, para uma substância cristalina, a partícula mínima é o conjunto de células unitárias, contendo tantas células unitárias quantas forem necessárias para satisfazer a definição; portanto, a partícula mínima de uma substância cristalina varia em dimensões conforme a substância em questão (Souza Santos, 1975).

2.4.1.5. Dimensões de uma Partícula

A dimensão de uma partícula é a que mais bem descreve o grau de subdivisão da mesma. Em uma partícula esférica, o tamanho da mesma é caracterizado pelo diâmetro da esfera e, portanto a dimensão da partícula é o diâmetro da esfera. Para uma partícula de forma irregular o “diâmetro médio” depende do método para obtenção dessa média: aritmética, geométrica, harmônica ou outra qualquer: naturalmente, o valor de qualquer dos diâmetros ou diâmetros médios da partícula está compreendido entre os valores de diâmetro mínimo e máximo. Um exemplo é o diâmetro médio calculado a partir da área

específica a partir da equação $d = \frac{6}{\rho \cdot AE}$, onde ρ é a massa específica e AE é a área específica (Souza Santos, 1975).

2.4.1.6. Forma das Partículas

No caso de partículas sólidas, a forma das partículas pode ser regular ou irregular. A forma regular (isométrica) é a cúbica ou a esférica, geralmente encontrada em materiais sintéticos pulverulentos como, por exemplo, em fumaças de MgO obtidas pela combustão de magnésio metálico que são cubos ou de sílica formada pela combustão de tetracloreto de silício que são esferas (Souza Santos, 1975).

2.4.1.7. Partículas e Dimensões Coloidais

Consideramos um cubo, de massa específica 1 g/cm^3 , medindo 1 cm de lado; esse cubo para 1 g e a área externa dos seis lados do cubo é $6 \times 1 \text{ cm}^2 = 6 \text{ cm}^2$. Define-se como “área específica” de um sólido a área total da superfície externa das partículas que constituem o sólido com relação à unidade de massa. Geralmente, a área específica é expressa em cm^2/g ou m^2/g . A Tabela 4, apresenta o desenvolvimento de área específica pela subdivisão de 1 cm^3 de um sólido de densidade 1 g/cm^3 .

Nº de cubos		Comprimento do lado	área específica
1		1 cm	6 cm^2/g
10^3		1,0 mm	60 cm^2/g
10^6		0,1 mm	600 cm^2/g
10^9		0,01 mm	6000 cm^2/g
10^{12}		1,0 μ	60000 cm^2/g
10^{15}	faixa de	0,1 μ	600000 cm^2/g
10^{18}	dimensões	0,01 μ	6000000 cm^2/g
10^{21}	coloidais	1,0 μ	60000000 cm^2/g

Tabela 4 - Desenvolvimento de Área Específica pela Subdivisão de 1 cm^3 de um Sólido de Densidade 1 g/cm^3 .

A faixa de dimensões entre $0,1\mu$ e $0,001\mu$ ou $1m\mu$ é chamada de “dimensões coloidais” e uma partícula tendo pelo menos uma dimensão nessa faixa é chamada “partícula coloidal” ou “partícula ultrafina”; uma dispersão contendo partículas coloidais é chamada dispersão coloidal (Souza Santos, 1975).

2.4.2. Utilização de Argilas para Uso Industrial em Cerâmica Vermelha

2.4.2.1. Argilas para Fabricação de Tijolos

Estudos realizados por Durães (1983), demonstra que as argilas, para terem emprego na fabricação de tijolos, devem ter valor médio ou elevado para tensão e ruptura ou módulo de ruptura à flexão, ante e após a queima. Costumam apresentar cor vermelha, após a queima em baixas temperaturas (geralmente 950°C , que é a temperatura usual de queima para esse tipo de produto), com um mínimo de trincas e empenamentos. Elevados teores de ferro divalente, elementos alcalinos e alcalinos-terrosos são prejudiciais pelo fato de causarem uma excessiva retração, reduzir a faixa de vitrificação e causar colorações indesejáveis. As argilas aqui utilizadas devem ter as seguintes características:

- **Plásticas** – argilas que, adicionadas de quantidade adequada de água, passam ao estado pastoso, e se deixam moldar facilmente por extrusão, conservando a forma moldada até a secagem, quando se tornam mecanicamente duras e bastante resistentes. A pasta moldável não deve apresentar-se arenosa ao tato.
- **Ferruginosas** – argilas que contêm uma porcentagem de até 5% de óxidos ou hidróxidos de ferro. Os óxidos de ferro, até o limite máximo de 5%, são benéficos, dando aos tijolos a coloração avermelhada desejada, além de facilitar a ceramização durante a queima.
- **Fundentes** – argilas que contêm impurezas de metais alcalinos, que lhes fornecem propriedades de sinterização à baixa temperatura. A presença dessas impurezas na argila permitem que os tijolos sejam queimados a temperaturas mais baixas com economia de combustíveis e tempo de queima.

- **Silicosas ou magras** – argilas quem contêm alto teor de anidrido silícico. São utilizadas para reduzir a plasticidade excessiva das argilas plásticas fortes ou gordas. Entretanto, o excesso de argila silicosa enfraquece o tijolo, aumentando sua porosidade após a queima.

2.4.2.2. Argilas para Fabricação de Telhas

As argilas, para serem utilizadas na fabricação de telhas, devem possuir as seguintes características: plasticidade adequada para moldagem, tensão ou módulo de ruptura à flexão elevada, quando secas, para permitir o manuseio durante a fabricação e após a secagem; porosidade aparente e absorção de água baixa para não permitir a permeação de água; ausência de trincas e empenamentos, após secagem e queima. Este tipo de argila ainda costuma apresentar cor vermelha após queima a cerca de 950°C, uma tensão de ruptura elevada (+ 6,5MPa, após queima, segundo Barzaghi e Salge (1982)) uma larga faixa de vitrificação e retração uniforme para proporcionar um bom controle das dimensões finais do produto acabado.

A cor vermelha da argila, após queima, é um dos fatores principais para a aceitação de uma argila para fabricação de telhas, devido ao fato do mercado brasileiro exigir, em geral, telhas de cores vivas, variando de alaranjado ao vermelho. Entretanto, existem argilas pobres em ferro que podem produzir telhas de cores claras com características cerâmicas satisfatórias para a fabricação de telhas: Argilas quaternárias recentes e antigas são utilizadas para essa finalidade (Souza Santos, 1975).

2.4.2.3. Argilas para Fabricação de Ladrilhos de Piso

São argilas plásticas e folhelhos argilosos, de fácil moldagem, com elevados teores de ferro e de metais alcalinos, que vitricam a temperaturas relativamente baixas, sem tendência a empenar. A cor vermelho-viva, sem manchas escuras (após queima entre 1000°C e 1100°C, que faixa de temperaturas de queima usual), é uma característica desejável, além dos valores baixos de absorção de água e porosidade

aparente, geralmente abaixo de 5%, devido ao elevado grau de vitrificação atingido, o qual dá origem a uma elevada resistência à abrasão. A faixa de vitrificação deve ser a maior possível (acima de 50°C) para assegurar uniformidade de cor e de dimensões aos ladrilhos de piso (Souza Santos, 1975).

2.4.2.4. Argilas para Fabricação de Manilhas Vidradas

São argilas de fácil extrusão, de elevada resistência mecânica à compressão no estado úmido para não se deformar sob o peso próprio. Devem ter uma composição conveniente para absorver sal ou um vidrado fundido para produzir uma camada de vidro (esmalte cerâmico) uniforme e sem trincas. Geralmente são utilizadas argilas do mesmo tipo das usadas para fabricação de telhas e folhelhos argilosos, são muito ricas em fúndentes e de boa extrudabilidade.

2.4.2.5. Argilas para Fabricação de Agregados Leves

Apesar da complexidade dos requisitos necessários a uma argila adequada para fabricação de agregados leves, algumas generalizações existem na literatura que permitem orientar o presente estudo. Segundo a literatura (Souza Santos (1975) e Ferreira (1975)), procura-se estabelecer uma composição química de argilas e folhelhos argilosos com a propriedade de inchar ou não entre as temperaturas de 1100°C e 1350°C: O material deve possuir um mineral que libere gás nessas temperaturas para produzir o inchamento.

Estudos realizados por Souza Santos (1975) concluem que o critério preliminar para o ensaio de argilas para agregados leves baseia-se no aumento de volume apresentado pelas amostras, após aquecimento a 1350°C entre 3 e 10 mm, resultado em massa específica aparente abaixo de 1,0 g/cm³.

2.5. Propriedades das Argilas Relacionadas com suas Aplicações

A primeira providência a ser tomada para utilização de uma argila em cerâmica é, portanto, fazer uma sondagem perfeita das jazidas e a determinação das suas principais propriedades. Podemos resumir as principais propriedades nas seguintes:

- a) **Tamanho das partículas** – As argilas são constituídas por partículas diminutas fracamente agregadas que se dispersam e água permitindo a separação das partículas maiores que sedimentam, das menores que se mantêm em suspensão coloidal se o meio não contém eletrólitos que provocam sua floculação.
- b) **Plasticidade** – É a propriedade que têm as argilas quando molhadas de se deixarem moldar conservando as formas que lhe são dadas. Essa propriedade está relacionada com os envoltórios de água sobre a superfície de cada partícula de argila, produzindo uma ação lubrificante que facilita o deslizamento de cada uma delas sobre as outras.
- c) **Contração** - A argila úmida contrai-se pela secagem devido à perda de água e conseqüentemente aproximação das partículas. O índice de contração varia com a natureza das argilas; as de partículas mais finas sofrem maior contração. Além dessa contração devido à perda de água de umedecimento, nova contração ocorre quando as argilas são aquecidas até perder sua água de constituição. Essa é a contração pelo cozimento que vem acompanhada por modificações profundas nas propriedades da argila. O cozimento proporciona a rigidez que permite a utilização da argila na fabricação de tijolos, telhas, e vasos diversos (Abreu, 1960).
- d) **Refratariedade** – O ponto de fusão das argilas depende de sua constituição química. O silicato de alumínio hidratado correspondente ao caulim funde aproximadamente a 1700°C enquanto as argilas contendo bases, quer na própria molécula, quer por misturas com outros produtos, tem pontos de fusão mais baixos. As argilas de alto ponto de fusão são chamadas refratárias e correspondem às de natureza caulínica; as montmorilonitas e as ilitas tem mais

baixo ponto de fusão. A presença de feldspato e micas faz baixar muito a refratariedade das argilas (Abreu, 1960).

- e) **Tixotropia** – As argilas coloidais dispersas em água numa adequada concentração adquirem o estado de gel, solidificando-se quando ficam em repouso. Esse fenômeno tem grande importância prática no preparo de lamas para uso em sondagens de petróleo. A tixotropia é propriedade relacionada com as argilas de partículas extremamente finas, do grupo da montmorilonita, tais como as bentonitas.

2.6. Argilas para Fabricação de Tijolos Refratários Isolantes Visando Aproveitamento de Pó de Madeira

Os mesmos materiais que servem para a fabricação dos refratários – argilas refratárias, sílica, magnésia – servem ainda para a fabricação de produtos especiais que aliam a refratariedade à má condutividade térmica, servindo então como refratários isolantes. A má condutividade se consegue por diminuição da massa, fabricando produtos de alta porosidade, obtida pela mistura à matéria refratária de pós orgânicos que se queimam durante o cozimento ou emulsionando gases na massa em moldagem (Pereira, 1985).

Altas temperaturas estão intimamente associadas à produção de tijolos, telhas e objetos cerâmicos, que adequado isolamento é considerado essencial no desenho e construção de fornos do tipo permanente. Seu efeito é marcante na redução dos custos de produção, pois o combustível é item importante e em alguns casos o maior de todos neste tipo de indústria. Além disto permite aquecer fornos a temperatura de funcionamento mais rapidamente, e mantê-la com mais facilidade (Temporal, Amaury).

No Brasil os materiais refratários vem sendo fabricados há vários anos para diversas finalidades com bastante sucesso. Os principais empregos destes materiais é o de revestimento de fornos industriais, fornalhas ou caldeiras, soleiras e unidades e/ou equipamentos semelhantes. A matéria prima utilizada para a fabricação destes materiais existe em grande abundância no território brasileiro, o que reduz bastante o custo operacional do seu processamento (Neves e colaboradores).

Na Paraíba existem grandes reservas de argila refratária, também existe uma grande produção de serragem, que normalmente é jogada fora, de forma que, a utilização destas matérias primas, é uma opção altamente viável para a produção de refratários isolantes, o que pode proporcionar o desenvolvimento sócio-econômico da região.

Grateral, R. e colaboradores (1994), pesquisaram a matéria prima venezuelana para a obtenção de um tijolo que apresentasse boa resistência mecânica, alta refratariedade e baixa condutividade térmica. Utilizou-se como matéria prima uma argila composta de caulim e quartzito na qual foi adicionada uma espécie de cimento refratário e resíduos de madeira como matéria orgânica. O resultado do trabalho foi considerado satisfatório, visto que o material obtido apresentou uma alta refratariedade e uma baixa condutividade térmica.

Morás, F. E colaboradores (1991), fizeram algumas considerações sobre refratários isolantes sílico-aluminosos para aplicações até 1100°C. Foi feito um trabalho que avaliou o efeito da adição de partículas combustíveis, de diferentes dimensões, a uma composição de material refratário isolante; assim como a influência da alteração da composição química, através da variação do teor de S_iO_2 . Os resultados obtidos permitem concluir que, para produtos a serem aplicados em locais sujeitos a temperaturas elevadas, a influência dos poros é determinante na condutividade térmica. Portanto, os materiais devem ser desenvolvidos, de forma que apresentem poros de dimensões pequenas e formato esférico. Pequenas variações no teor de S_iO_2 não causam alteração na condutividade, permitindo concluir que, quando a quantidade de fases presentes não é alterada de forma significativa, este fator não é o determinante para alteração desta propriedade.

2.7. Geologia da Região em Estudo

2.7.1. A Mineração na Paraíba

A mineração na Paraíba caracteriza-se como uma atividade primária não tradicional, funcionando, em seu conjunto, através de processos rudimentares, principalmente no setor de extração, onde a garimpagem assume papel de destaque.

Evidentemente, uma análise global não retrata as peculiaridades e, como tal, há local em que a mineração se individualiza regionalmente, como tal, há local em que a mineração se individualiza regionalmente, como uma atividade tradicional, como, por exemplo, no Seridó Paraibano. Por outro lado, há locais onde os processos de extração e beneficiamento já apresentam relativo grau de mecanização. Como exemplo pode ser citada a extração de calcário para fabricação de cimento, em João Pessoa, e a extração e beneficiamento de bentonita, em Campina Grande (Atlas Geográfico da Paraíba, 1985).

Dentre os minerais encontrados na Paraíba, cerca de vinte e seis, entre metálicos e não metálicos, são ou foram explorados com certa regularidade: berilo, cassiterita, columbita, tantalita, espodumênio, lepidolita, monlibdenita, ouro, rutilo, scheelita, titânio, zircônio, ferro, bentonita, caulim, apatita, calcário, barita, fluorita, feldspato, quartzo, mica, amianto, areia, argila, granito, quartizito, água mineral, entre outros.

Destacam-se a bentonita (a mais importante reserva existente no país); o calcário, o tungtênio e importantes mineralizações em pegmatita com tantalita, columbita, cassiterita, caulim, berilo, quartzo, feldspato e mica. A indústria extrativa mineral da Paraíba participa modestamente na produção nacional. As principais substâncias minerais exploradas no Estado podem ser observadas na Figura 1.

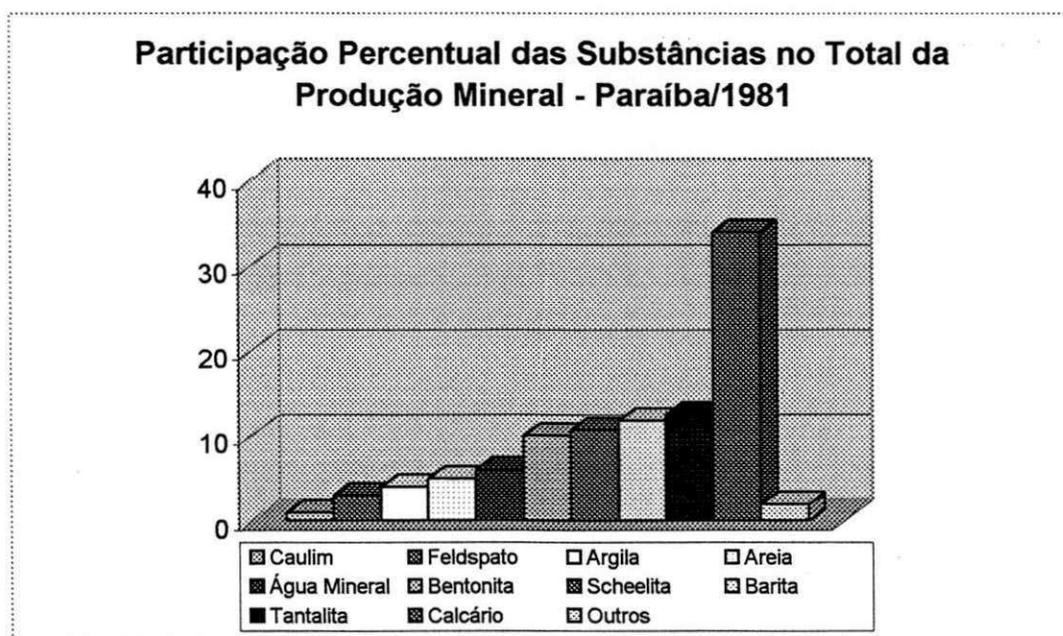


Figura 1 – Fonte : SEMENA / 1981 – Pesquisa da Produção Mineral

2.7.2. Os Solos na Paraíba

Os solos da Paraíba vão refletir duas ordens de fatores importantes: climáticos e edáficos (natureza da rocha-mãe).

Sendo assim, cerca de 1/5 do território paraibano apresenta solos evoluídos em função do clima quente e úmido (26°C; 900 – 1700mm; 7 a 9 meses com chuvas). Trata-se das áreas úmidas do litoral e de algumas serras, assim como do Brejo e do corredor sub-úmido da depressão sublitorânea. As únicas exceções são representadas pelos *solos brutos arenosos* das restingas e praias, dos *solos aluviais* das várzeas e dos solos salinos e encharcados dos mangues. Mas, apesar dos condicionantes climáticos que atuam nessa porção do Estado, a rocha-mãe vai desempenhar um importante papel nos tipos de solos que ali se encontram (Atlas Geográfico da Paraíba, 1985).

É assim que os tabuleiros costeiros e sub-costeiros formados a partir dos sedimentos heterogêneos apresentam solos do tipo podzol, quando as camadas rochosas são arenosas, enquanto as camadas argilosas, as de nosso interesse, normalmente ostentam lateríticos (latossolos) diversos, lixiviados e solos podzólicos (Atlas Geográfico da Paraíba, 1985).

Na área do Brejo, ou seja, no rebordo úmido elevado da Borborema que recebe influência das massas de ar úmidas provenientes do Atlântico, as rochas graníticas e os restos dos capeamentos sedimentares dão origem a uma imensa variedade de latossolos e de solos podzólicos pobres em nutrientes (Atlas Geográfico da Paraíba, 1985).

Já o setor representado pela depressão sublitorânea e submetido a uma pluviosidade menor, a grande variedade de rochas cristalinas engendram solos podzólicos, mais ricos em nutrientes, associados a solos com hidromorfia temporária e a solos pouco espessos, do tipo bruno (Atlas Geográfico da Paraíba, 1985).

A topografia e a rocha-mãe introduzem modulações nesse quadro geral.

Os gnaisses e xistos normalmente dão origem a solos argilosos, compactos e pedregosos fortemente sujeitos à erosão (litossolos e solos bruno litólicos).

Já os granitos grosseiros dão origem a solos mais arenosos, um pouco mais profundos.

2.8. Conclusão

Esta revisão bibliográfica teve a forma e conteúdo apresentado, uma vez que não se encontram na literatura disponível informações adicionais com relação à elaboração de peças cerâmicas refratárias com incorporação de matéria orgânica através de extrusão, a partir de argilas localizadas na região meio leste da Paraíba.

Sendo assim, esta dissertação de mestrado visa atender este espaço vazio, que deve ser ocupado por pesquisas que englobem a localização e caracterização de jazidas, que possam atender essa necessidade específica, bem como descrever a procedimento utilizado na fabricação das peças cerâmicas.

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

3.1.1. Localização e Denominação das Amostras

Para o desenvolvimento desta dissertação foram coletadas cinco amostras de argilas, provenientes de três municípios distintos do Estado da Paraíba, conforme localização geográfica do mapa da Figura 2. Estas amostras foram colocadas dentro de sacos de panos apropriados, pesando aproximadamente 20 Kg, conforme mostra a Figura 3, e foram transportadas em camionete para o Laboratório de Materiais Cerâmicos do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

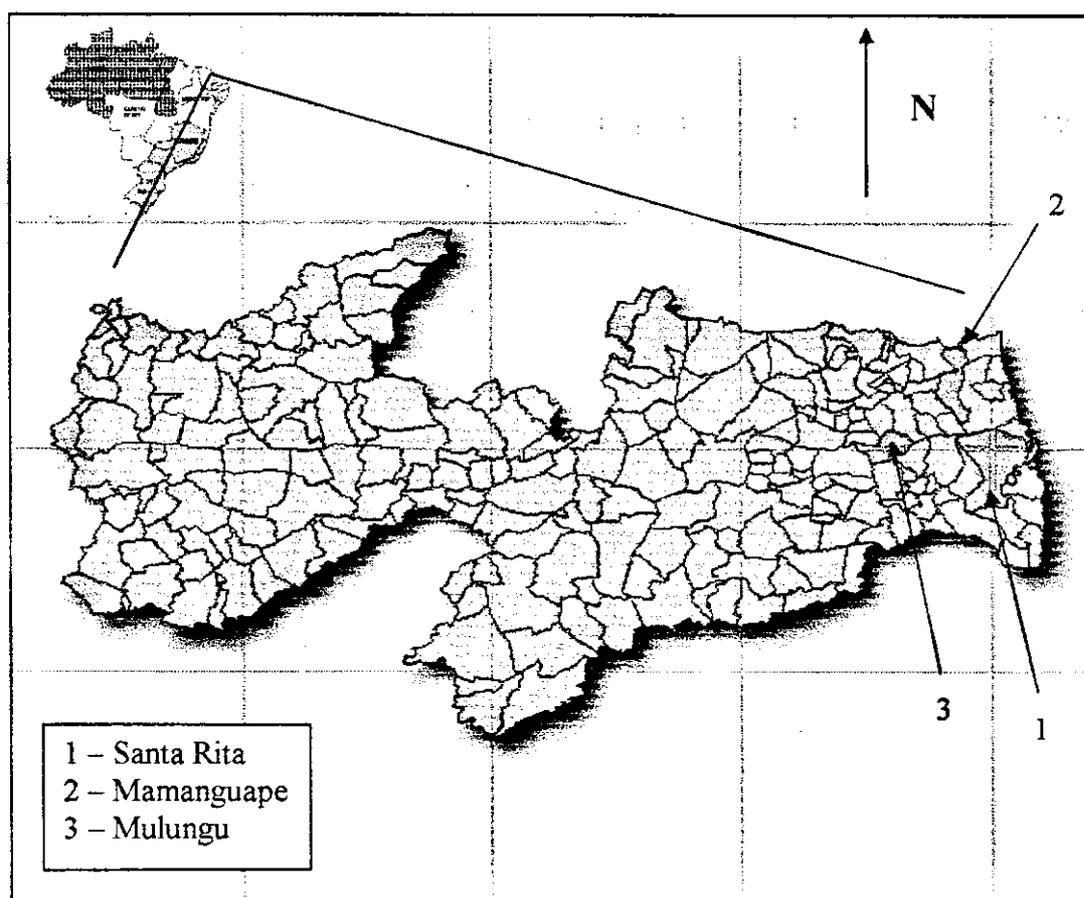


Figura 2 – Localização geográfica dos municípios em estudo



Figura 3 – Sacos com argila recebidos no laboratório

As amostras utilizadas foram provenientes de jazidas dos municípios de Santa Rita, Mulungu e Mamanguape, todos no Estado da Paraíba.

a) Município de Santa Rita

Em Santa Rita foram coletadas duas amostras, as quais serão identificadas pelas insígnias SR1 e SR2, denotando, desse modo, o município de origem conforme descrição abaixo.

Amostras	Localização e Descrição
SR1	Material proveniente da jazida Clara Neta, que fornece sua argila a indústria de cerâmica Caiongo. Apresenta cor cinza escuro, pertencente a depósitos recentes. A amostra apresenta-se na forma de agregados de difícil desagregação manual, sendo visível a matéria orgânica na forma de raízes.,
SR2	Material proveniente da jazida Estância Dois Irmãos, que fornece sua argila a indústria de cerâmica Cincera. Apresenta cor cinza escuro. A amostra apresenta-se na forma de agregadas muitos duros.

b) Município de Mulungu

Em Mulungu foram coletadas duas amostras, as quais serão identificadas pelas insígnias MU1 e MU2, denotando, desse modo, o município de origem conforme descrição abaixo.

Amostras	Localização e Descrição
MU1	Material proveniente da jazida Queiroga. Apresenta cor cinza escuro, argilo-arenoso. A amostra apresentava-se na forma de agregados com diâmetros variáveis e de fácil desagregação manual, sendo visível a matéria orgânica na forma de raízes
MU2	Material proveniente da jazida Robério. Apresenta cor cinza escuro, argilo-arenoso. A amostra apresenta-se na forma de agregados duros e compactos de difícil desagregação manual..

c) Município de Mamanguape

Em Mamanguape foi coletado uma amostra, a qual será identificada pela insígnia MA1, denotando, desse modo, o município de origem conforme descrição abaixo.

Amostras	Localização e Descrição
MA1	Apresenta cor cinza claro, argilo-arenoso, pertencente a depósitos recentes, e de difícil desagregação manual.

O pó de madeira utilizado foi adquirido junto aos resíduos deixados durante a serragem de vários tipos madeiras – como ipê, jatobá, massaranduba, entre outras – que foram usadas na fabricação de portas, forras e esquadrias para a indústria de construção civil da cidade de João Pessoa, Paraíba. Esse pó foi armazenado e transportado em sacos plásticos.

3.1.2. Preparação das Amostras para Ensaio Tecnológicos

Após serem recebidas no laboratório, as argilas foram espalhadas separadamente, para a secagem natural. Depois as amostras foram submetidas à secagem na estufa elétrica (110°C), por 24 horas. Após esfriarem, cada amostra foi destorroada separadamente. Depois do processo de britagem, uma parte de cada amostra (aproximadamente 7 Kg) foi moída em um moinho de bolas, conforme mostra a Figura 4, para finalmente, serem submetidas ao processo de conformação dos corpos de prova, enquanto o restante foi destinado aos ensaios de granulometria.

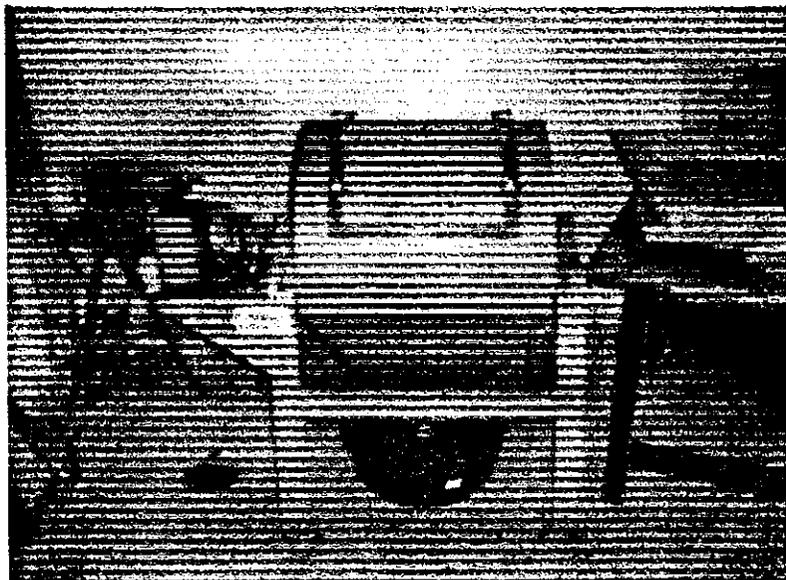
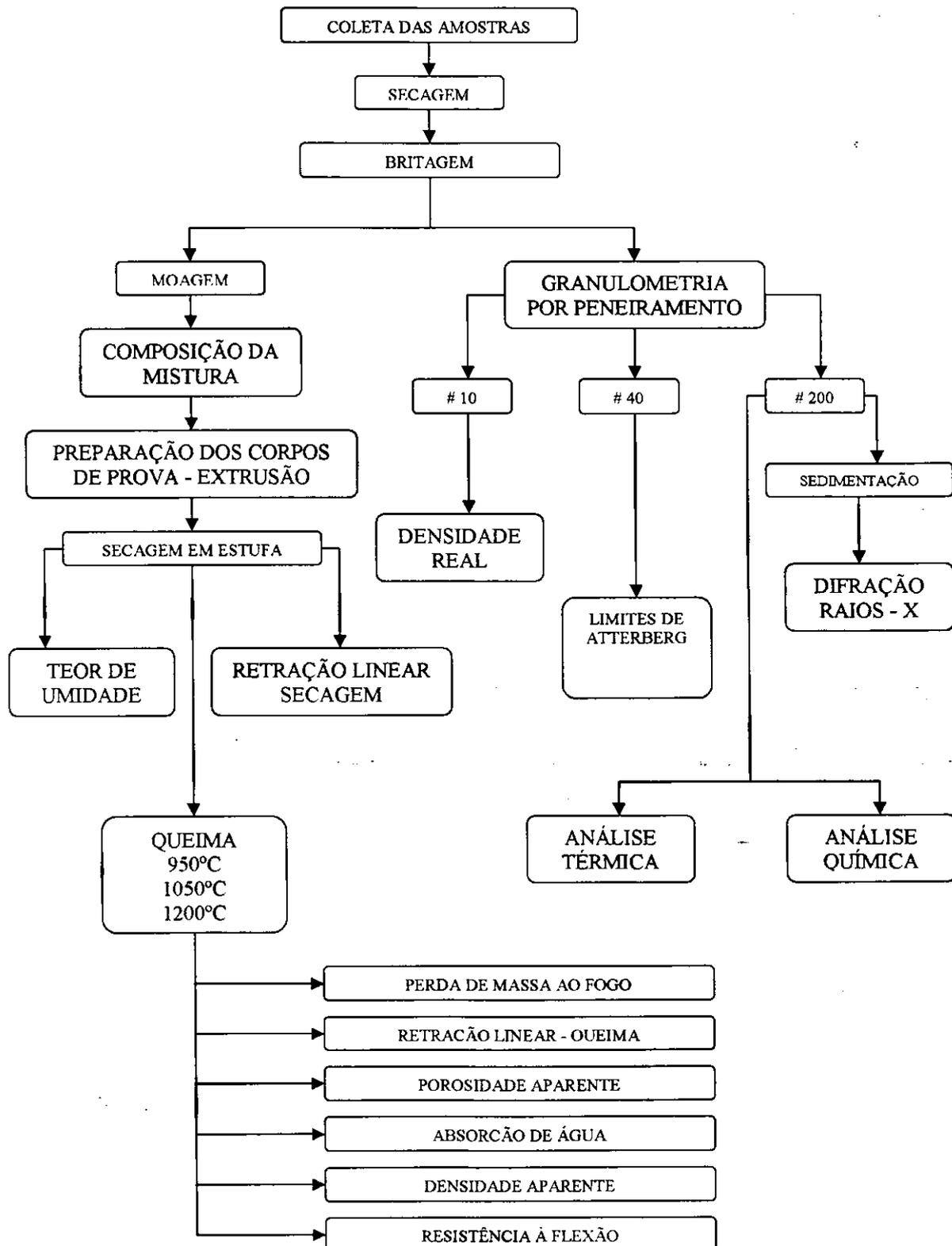


Figura 4 – Moinho de bolas tipo Sonnex da Pavitest

3.2. Métodos

3.2.1. Esquema em Fluxograma dos Métodos de Ensaio Utilizados



3.2.2. Caracterização das Amostras

3.2.2.1. Análise Granulométrica

As amostras foram ensaiadas segundo métodos descritos da NBR-7181 da ABNT e do manual técnico de procedimentos do Laboratório de Reologia da Escola Mário Amato.

A análise granulometria consiste em determinar a distribuição granulométrica da argila, ou seja, a percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de grãos representa na massa seca total utilizada para o ensaio.

Através dos resultados obtidos desse ensaio, foi possível a construção de curvas de distribuição granulométrica, o que possibilita estimar a percentagem (em relação ao solo seco total) correspondente a cada fração granulométrica da argila.

3.2.2.2. Determinação dos Limites de Liquidez e de Plasticidade

As amostras foram ensaiadas segundo métodos descritos da NBR-6459 e NBR-7180 da ABNT, destinados a solos e corretamente utilizados no Laboratório de Materiais e Produtos Cerâmicos – CT – Campus I - UFPB.

Os limites de consistência (limite de liquidez e de plasticidade) das argilas são fatores representativos do efeito combinado de uma série de propriedades (tipo do argilomineral, estrutura, etc.)

O limite de liquidez é definido como a umidade acima da qual a argila se comporta como material plástico. É a umidade de transição entre os estados líquido e plástico do solo.

O limite de plasticidade é definido como a umidade em que a argila deixa de ser plástica, tornando-se quebradiça. É a umidade de transição entre os estados plástico e semi-sólido da argila.

A plasticidade é a propriedade que possuem as argilas de se deixarem modelar, quando pastosas, pela adição de água. Para uma definição mais técnica, plasticidade é a propriedade que o material tem de ficar deformado pela aplicação de pressão sendo que a deformação permanece quando a pressão aplicada é retirada.

A plasticidade é propriedade básica das argilas. Conhecendo-se a plasticidade das argilas pode-se prever suas aplicações nas indústrias, assim como certos problemas que podem ocorrer num produto em processamento.

3.2.2.3. Massa Específica Real pelo Método do Picnômetro

As amostras foram ensaiadas segundo métodos descritos da NBR-6221 da ABNT que tem como fundamentação teórica o princípio de Arquimedes, segundo o qual o corpo submerso num líquido sofre um empuxo vertical cujo valor é igual ao peso do volume de líquido deslocado pelo corpo

A massa específica real de um solo é o valor médio da massa específica dos grãos dos minerais que o compõe, ou seja, os vazios não são computados ou considerados. A sua obtenção é necessária para o cálculo do ensaio de sedimentação e a determinação de vários índices físicos das argilas.

3.2.2.4. Caracterização Química das Amostras

A partir dos dados da composição química podem ser calculados: composição mineralógica e temperatura de fusão segundo método contido na referência (3). Através da análise química das argilas temos informações com bastante exatidão das seguintes determinações: umidade, perda ao fogo, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , Cu , Mn , e matéria orgânica.

A análise química foi realizada segundo o método clássico (determinações gravimétricas) e seu resultado é de suma importância, principalmente na formulação de massas cerâmicas e desenvolvimento de matérias de cerâmica.

3.2.2.5. Difração de Raio X

As amostras foram ensaiadas em um difrator de raios-X, modelo D5000 X-RAY Diffractometer – Siemens, segundo método contido em sua referência. A difração de raios-X (DRX) é a técnica que isoladamente fornece informações mais amplas,

precisas e detalhadas quanto à qualificação, caracterização e quantificação dos minerais presentes numa argila.

3.2.2.6. Análise Térmica Diferencial (ATD)

As amostras foram ensaiadas em um Analisador Termodiferencial, modelo RB3000 da BP Engenharia. A análise térmica diferencial tem tido larga aplicação no estudo de argilas, pois consiste num método muito eficiente de identificação de argilominerais e suas misturas, naturais ou artificiais.

As curvas de ATD revelam mudanças de energia que ocorrem em um determinado material durante o seu aquecimento ou arrefecimento. As mudanças de energia podem resultar de quatro causas principais: transição de fases, decomposição do estado sólido; reações com gás ativo e transições de segunda ordem (mudança de entropia sem mudança de entalpia) (Gomes, 1986).

3.2.3. Estudo de Argila com a Incorporação de Pó de Madeira

Das amostras estudadas foi escolhida uma para o desenvolvimento do material cerâmico refratário. Esta amostra foi a que apresentou as melhores características refratárias, ou seja, que melhor suportou, após a queima, temperaturas entre 950°C e 1450°C.

O pó de madeira utilizado na composição do material, que estava armazenado em sacos plásticos e disposto numa grande variedade de tamanhos (raspas e pó) foi colocado em estufa regulada a uma temperatura de 110° C por 24 horas, moído e passado em uma peneira ABNT N° 80 (abertura 0,177 mm). O resultado pode ser observado na Figura 5.

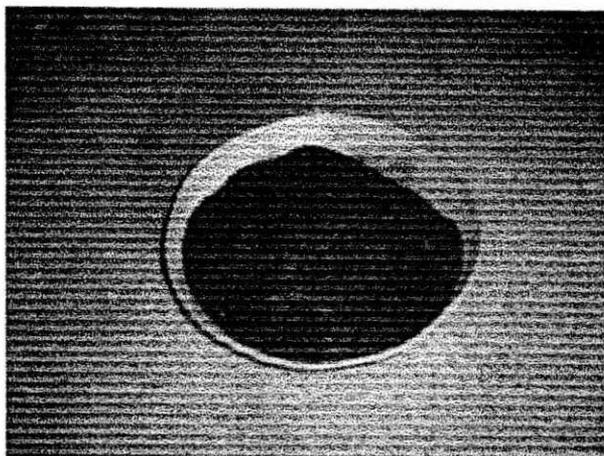


Figura 5 – Pó de madeira moído e peneirado

Nesse trabalho foram elaboradas três composições distintas para a conformação dos corpos de provas, foram elas:

1. 0% de pó de madeira
2. 10% de pó de madeira
3. 20% de pó de madeira

Todos os percentuais de pó de madeira utilizados na elaboração dos corpos de prova dessa pesquisa foi calculado com base no peso dos materiais, devido a facilidade de seu controle em uma balança de precisão 0,01g, ilustrada na Figura 6.

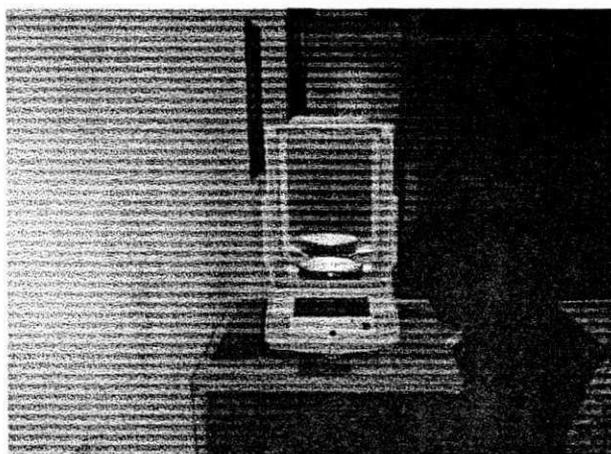


Figura 6 – Balança de precisão 0,01g

A composição do material foi feita manualmente, sobre uma bandeja de ferro, acrescentando-se lentamente o pó de madeira à argila e elaborando movimentos circulares até a homogeneização do material. Posteriormente, foi adicionado a quantidade de água necessária para que o composto ficasse com uma umidade de aproximadamente 22 %, que é a recomendada para a conformação dos corpos de prova por extrusão. Depois, o material foi ensacado em sacos plásticos bem vedados, para evitar a entrada de ar e o ressecamento do mesmo, e foi deixado em repouso por 24 horas, conforme mostra a Figura 7.



Figura 7.– Material ensacado

Para a conformação dos corpos de prova foi utilizado uma extrusora da marca Verdes, ilustrada na Figura 8, com uma boquilha apropriada para tijolos maciços de bitola 280 mm por 180 mm. O material foi colocado no captador da extrusora, processado em seu interior e, finalmente, na sua saída, foi cortado, com o auxílio de uma faca, com um comprimento de aproximadamente 15 cm.

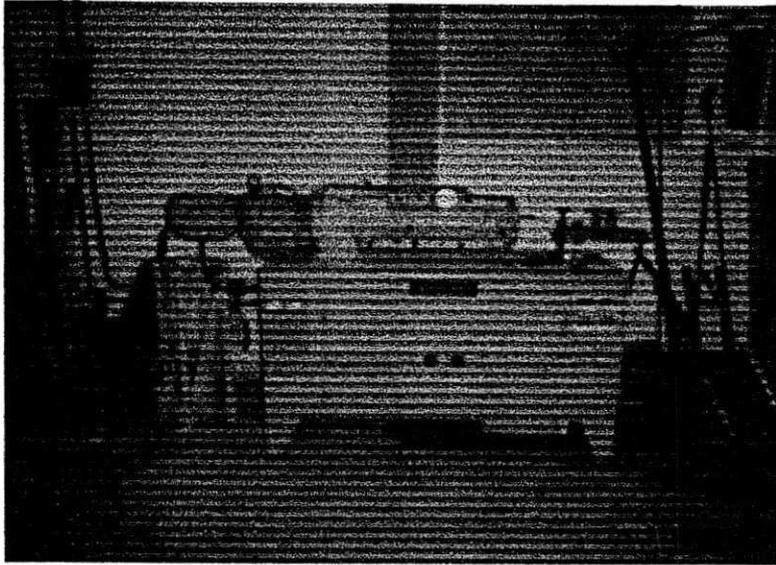


Figura 8 – Extrusora Verdés

Os corpos de prova foram identificados com a letra MCR, para expressar a abreviação de Material Cerâmico Refratário, numerados em ordem crescente e marcados com o percentual de pó de madeira (0%, 10% ou 20%).

Após a identificação dos corpos de provas, eles foram deixados em repouso por 48 horas, para depois serem colocados em estufas elétricas (ilustradas na Figura 9), reguladas a uma temperatura de 110° C, por um período de 24 horas.

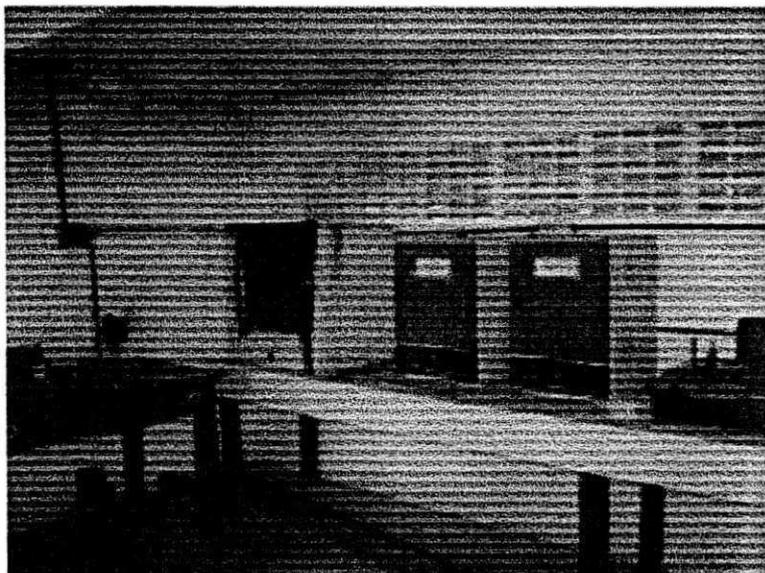


Figura 9 – Estufas Elétricas

Depois da secagem em estufa, finalmente, os corpos de prova estavam prontos para os ensaios complementares e para a queima.

3.2.4. Propriedades Físico-Mecânicas dos Corpos Cerâmicos com a Incorporação de Pó de Madeira Antes da Queima

3.2.4.1. Determinação do Teor de Umidade dos Corpos de Prova

Para a determinação do teor de umidade dos corpos de prova foi necessário o peso dos mesmos logo após a conformação, ou seja, antes do primeiro processo de secagem (peso úmido – P_u) e o peso após o segundo processo de secagem, relativo a secagem em estufa (peso após secagem – P_s).

O teor de umidade, representado pelas iniciais TU, é expresso em porcentagem e determinado efetuando a diferença entre o peso úmido e o peso após secagem, dividindo pelo peso após secagem e multiplicando o resultado por 100.

3.2.4.2. Determinação da Retração Linear de Secagem dos Corpos de Prova

Para a determinação da retração linear de secagem dos corpos de prova foi necessário a dimensão linear dos mesmos logo após a conformação, ou seja, antes do primeiro processo de secagem (dimensão linear do corpo de prova úmido – L_u) e a dimensão linear após o segundo processo de secagem, relativo a secagem em estufa (dimensão linear do corpo de prova seco a 110°C – L_s).

A retração linear de secagem, representada pelas iniciais RLs, é expressa em porcentagem e determinada efetuando a diferença entre a dimensão linear do corpo de prova úmido e a dimensão linear do corpo de prova seco a 110°C , dividindo pela dimensão linear do corpo de prova seco a 110°C e multiplicando o resultado por 100.

3.2.5. Queima dos Corpos de Prova

Os corpos de prova foram queimados nas temperaturas de 950°C, 1050°C e 1200°C. Foi utilizado um forno elétrico da marca Linn Elektro Therm (ilustrado na Figura 10), com taxa de aquecimento de 10°C/min e patamar final de uma hora, com resfriamento no próprio forno.

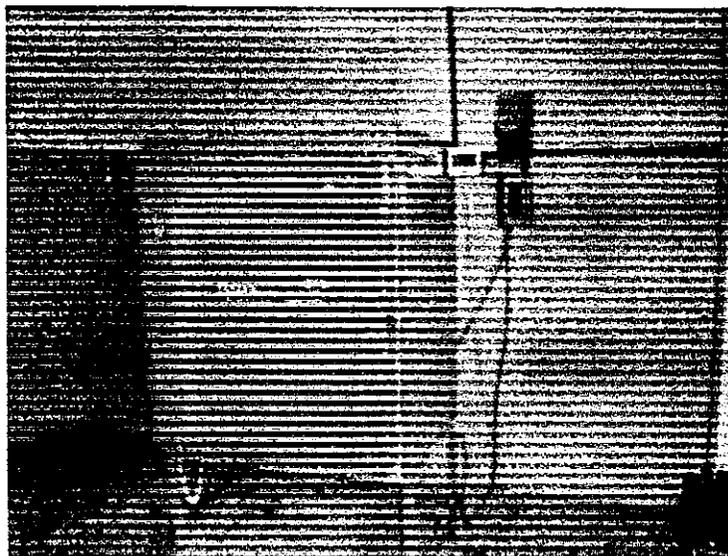


Figura 10 – Forno Elétrico

Depois da queima, finalmente, os corpos de prova estavam prontos para os ensaios complementares.

3.2.6. Propriedades Físico-Mecânicas dos Corpos Cerâmicos com a Incorporação de Pó de Madeira Depois da Queima

3.2.6.1. Determinação da Perda de Massa ao Fogo dos Corpos de Prova

A perda de massa ao fogo, também denominada de perda ao fogo, indica quanto de massa o material perdeu durante a queima na temperatura correspondente. Para a determinação da perda ao fogo dos corpos de prova foi necessário o peso dos mesmos após o segundo processo de secagem, relativo a secagem em estufa (peso do corpo de prova seco a 110° C – Ps) e o peso após a queima (peso do corpo de prova após queima – Pq).

A perda ao fogo, representada pelas iniciais PF, é expressa em percentagem e determinada efetuando a diferença entre o peso do corpo de prova seco a 110° C e o peso do corpo de prova após a queima, dividindo pelo peso do corpo de prova após a queima e multiplicando o resultado por 100.

3.2.6.2. Determinação da Retração Linear de Queima dos Corpos de Prova

Para a determinação da retração linear de queima dos corpos de prova foi necessário a dimensão linear dos mesmos após o segundo processo de secagem, relativo a secagem em estufa (dimensão linear do corpo de prova seco a 110° C – L_s) e a dimensão linear após a queima (dimensão linear do corpo de prova após queima – L_q).

A retração linear de queima, representada pelas iniciais RL_q, indica, através das dimensões lineares, se houve retração dos corpos de prova, é expressa em percentagem e determinada efetuando a diferença entre a dimensão linear do corpo de prova seco a 110° C e a dimensão linear do corpo de prova após a queima, dividindo pela dimensão linear do corpo de prova após a queima e multiplicando o resultado por 100.

3.2.6.3. Determinação da Porosidade Aparente dos Corpos de prova

A porosidade aparente dos corpos de prova foi determinada pelo método da imersão, seguindo o princípio de Arquimedes. Para a sua determinação foi necessário o peso do corpo de prova saturado, que foi determinado após exposição dos corpos de prova no interior de uma autoclave por um período de 2 horas com taxa de aquecimento da água crescente até atingir a temperatura de 94° C, temperatura em que a autoclave (ilustrada na Figura 11) foi desligada, e onde os corpos de prova permaneceram imersos e em repouso por mais 24 horas. Após esse processo, os corpos de prova foram enxugados com o auxílio de uma flanela e pesados em uma balança de precisão 0,01g, essa pesagem correspondia ao peso do corpo de prova saturado (P_{sat}).

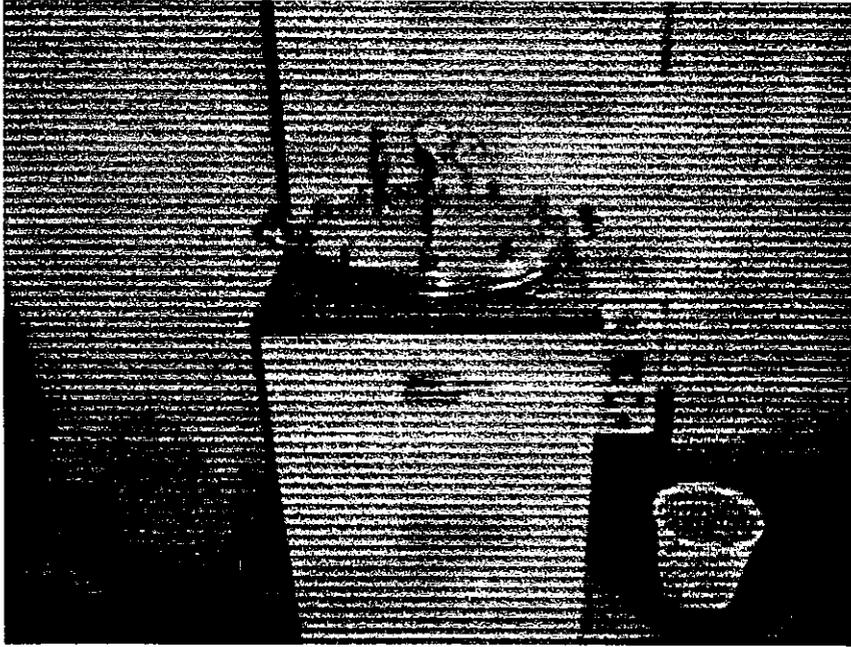


Figura 11 - Autoclave

Foi necessário ainda, o peso do corpo de prova seco em estufa a uma temperatura de aproximadamente 110°C , a fim de se retirar toda água contida no material. O corpo de prova era retirado da estufa e pesado a cada dez minutos a fim de se verificar a sua mudança de peso. A partir do momento que esse valor não se alterava, a operação estava finalizada e este valor era o peso inicial do bloco, ou seja o peso do tijolo seco (P_s).

Finalmente, foi necessário o peso do corpo de prova imerso (P_i), que foi determinado com o auxílio de uma balança especial, onde foi acoplada uma gaiola na sua base inferior, com intuito de pesar o tijolo imerso em uma bacia com água, que encontrava-se abaixo da balança, conforme mostra Figura 12.



Figura 12 – Pesagem dos corpos de prova imersos

A porosidade aparente, representada pelas iniciais PA, indica, através dos pesos determinados acima, a quantidade de vazios (ou poros) dos corpos de prova, é expressa em porcentagem e foi determinada efetuando a diferença entre o peso saturado do corpo de prova e o peso do corpo de prova seco, dividindo pela diferença entre o peso saturado do corpo de prova e o peso imerso do corpo de prova e multiplicando o resultado por 100.

3.2.6.4. Determinação da Absorção de Água dos Corpos de Prova

Para a determinação da absorção de água dos corpos de prova foi necessário o peso do corpo de prova saturado (P_{sat}) e o peso do corpo de prova seco (P_s). A descrição da obtenção de ambos os pesos encontra-se no item 3.2.5.3.

A absorção de água, representada pelas iniciais AA, é expressa em porcentagem e determinada efetuando a divisão da diferença entre o peso do corpo de prova saturado (P_{sat}) pela diferença entre o peso do corpo de prova seco (P_s) pelo peso do corpo de prova saturado (P_{sat}) e multiplicando o resultado por 100:

3.2.6.5. Determinação da Densidade Aparente dos Corpos de Prova

Para a determinação da densidade aparente dos corpos de prova foi necessário o peso do corpo de prova saturado (P_{sat}) e o peso do corpo de prova imerso (P_i). A descrição da obtenção de ambos os pesos encontra-se no item 3.2.5.3.

A densidade aparente, representada pelas iniciais DA, é expressa em g/cm^3 e determinada efetuando a divisão do peso do corpo de prova saturado (P_{sat}) pela diferença entre o peso do corpo de prova saturado (P_{sat}) e o peso do corpo de prova imerso (P_i).

3.2.6.6. Determinação da Resistência à Flexão dos Corpos de Prova

3.2.6.6.1. Princípio de Funcionamento do Aparelho Utilizado

A resistência à flexão, também conhecida como tensão de ruptura à flexão ou módulo de ruptura à flexão foi determinada com o auxílio de um equipamento apropriado, modelo BP-20, fornecido pela BP ENGENHARIA INDÚSTRIA E COMÉRCIO e adquirido pelo Laboratório de Materiais Cerâmicos da UFPB, ilustrado na Figura 13.

O aparelho funciona pelo princípio da variação do momento aplicado ao corpo de prova; o que é obtido pelo deslocamento de um peso sobre o braço de uma alavanca. O movimento do peso é uniforme, e a velocidade de aplicação de carga ajustável, garantido uma elevada precisão nos resultados obtidos. A BP ENGENHARIA INDÚSTRIA E COMÉRCIO garante que o aparelho foi concebido em conformidade com as normas da ABNT “Ensaio de Flexão à Temperatura Ambiente”.

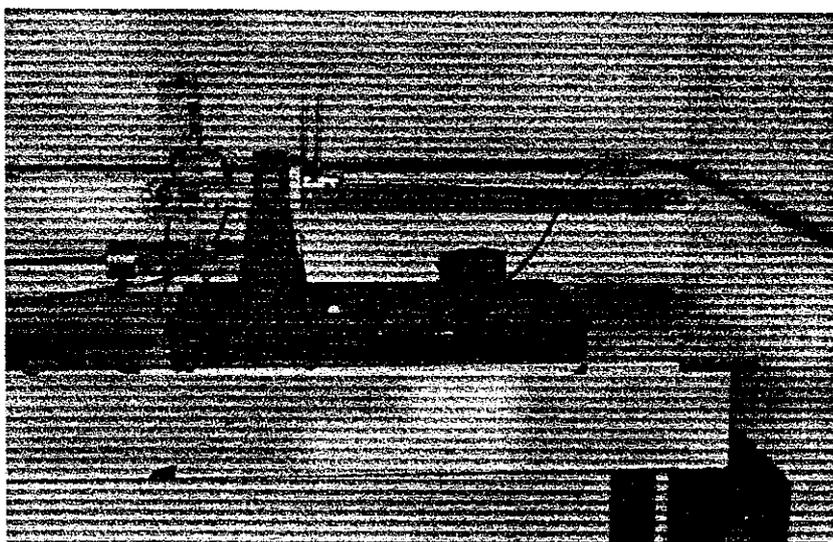


Figura 13 – Aparelho BP 20 para determinação da resistência à flexão

Normalmente, os aparelhos para resistência à flexão, possuem varias escalas de trabalho, permitindo sua aplicação para materiais com vários graus de resistência. A variação das escalas pode ser obtida de duas maneiras principais:

1. A primeira varia a distância entre o ponto fixo da alavanca e o ponto de aplicação da carga, mantendo-se, neste caso o peso constante, uma vez que o fator de multiplicação será devido a variação da distância mencionada.
2. No segundo caso, a distância entre os pontos fixo e móvel é mantida constante e o peso é variável.

O instrumento BP Engenharia foi construído de acordo com o segundo princípio e a razão reside no fato de que uma grande proximidade entre os pontos (fixo e de aplicação da carga) acarreta uma grande inclinação no braço da alavanca, devido a pequena deformação experimentada pelo corpo de prova em ensaio. Em outras palavras, a modificação do ângulo formado pelo braço de alavanca e o plano horizontal, é proporcional à deformação elástica experimentada pelo corpo de prova em ensaio e inversamente proporcional a distância mencionada.

A característica construtiva do equipamento BP Engenharia admite apenas uma ligeira inclinação no braço de alavanca, fato que dispensa cuidadoso nivelamento, como ocorre com os instrumentos baseados no primeiro princípio.

De fato, a horizontalidade do braço de alavanca, no início do ensaio pode ser realizada de maneira aproximada, sem qualquer prejuízo da precisão do ensaio.

3.2.6.6.2. Interpretação e Obtenção dos Resultados Através do Aparelho Utilizado

Para facilidade de operação o aparelho admite corpos de prova com até 250 mm de largura permitindo a realização de ensaios com pisos recém-prensados por exemplo: sem necessidade de corte. No trabalho em questão, os corpos de prova tinham aproximadamente 150 mm de largura.

O corpo de prova fica apoiado entre cutelos cuja distância pode variar entre 5.0 , 7.5 , 10.0 , 15.0 e 20.0 cm, de acordo com o tamanho do corpo de prova em questão. No caso desta pesquisa, a distância entre os cutelo utilizada foi de 10.0 cm.

O braço de alavanca do instrumento tem o formato de uma régua onde têm-se três escalas gravadas, estas escalas correspondem respectivamente às distâncias entre apoios de 7.5 ; 5/10/20 ; e 15 cm.

Sendo a resistência à flexão determinada pela seguinte fórmula: $3/2 \times PL/a^2b$, onde:

- P = carga atingida no momento da ruptura (N);
- L = distância entre apoios (m);
- b = largura do corpo de prova (m);
- a = espessura do corpo de prova (m).

O valor gravado na régua corresponde à grandeza $3/2 \times PL$; logo para a determinação da resistência à flexão basta dividir o valor obtido na escala correspondente a distância entre apoio utilizada por a^2b , que naturalmente dependem do corpo de prova.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização das Cinco Amostras

4.1.1. Análise Granulométrica

Apresentamos nos Figuras 14 a 18 as curvas granulométricas de todas as amostras.

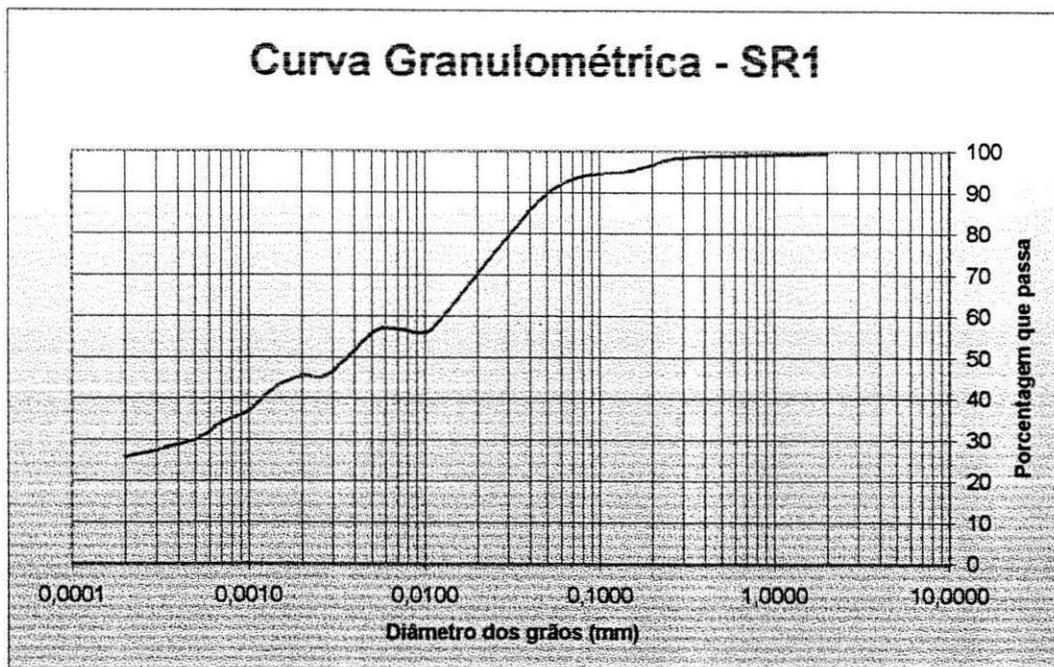


Figura 14 – Curva Granulométrica da amostra SR1.

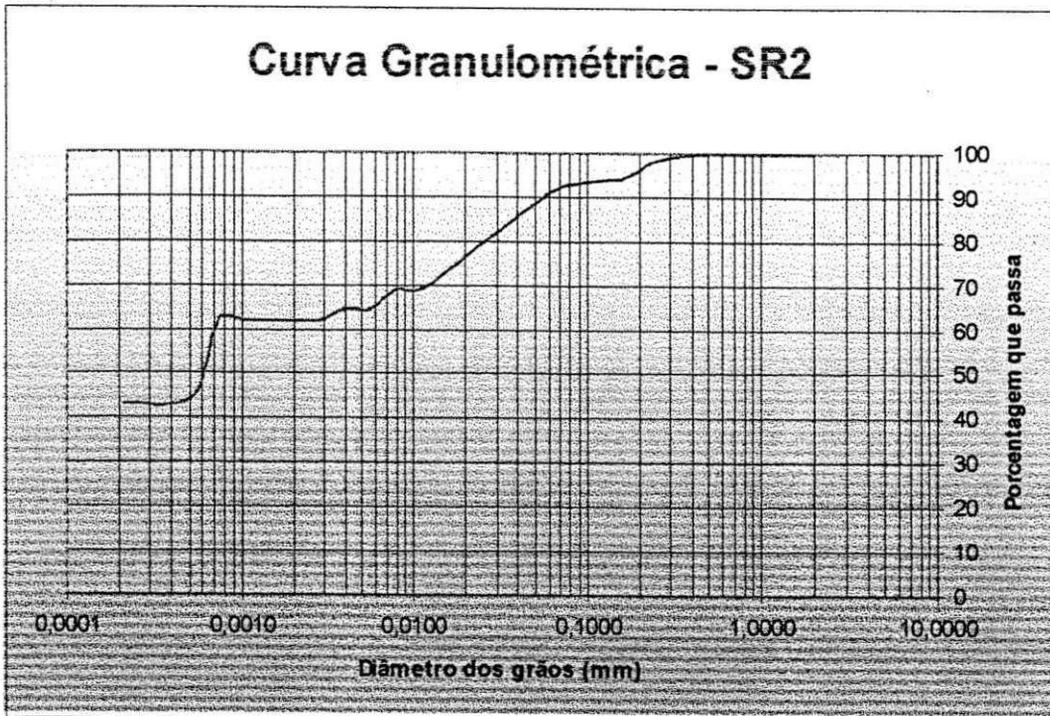


Figura 15 – Curva Granulométrica da amostra SR2.

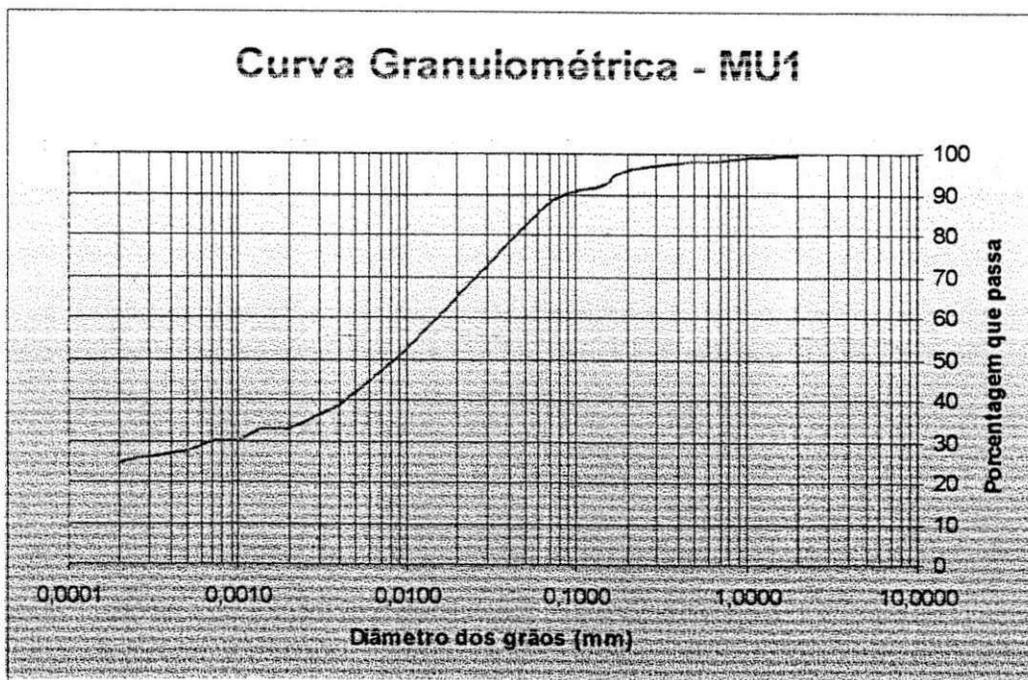


Figura 16 – Curva Granulométrica da amostra MU1.

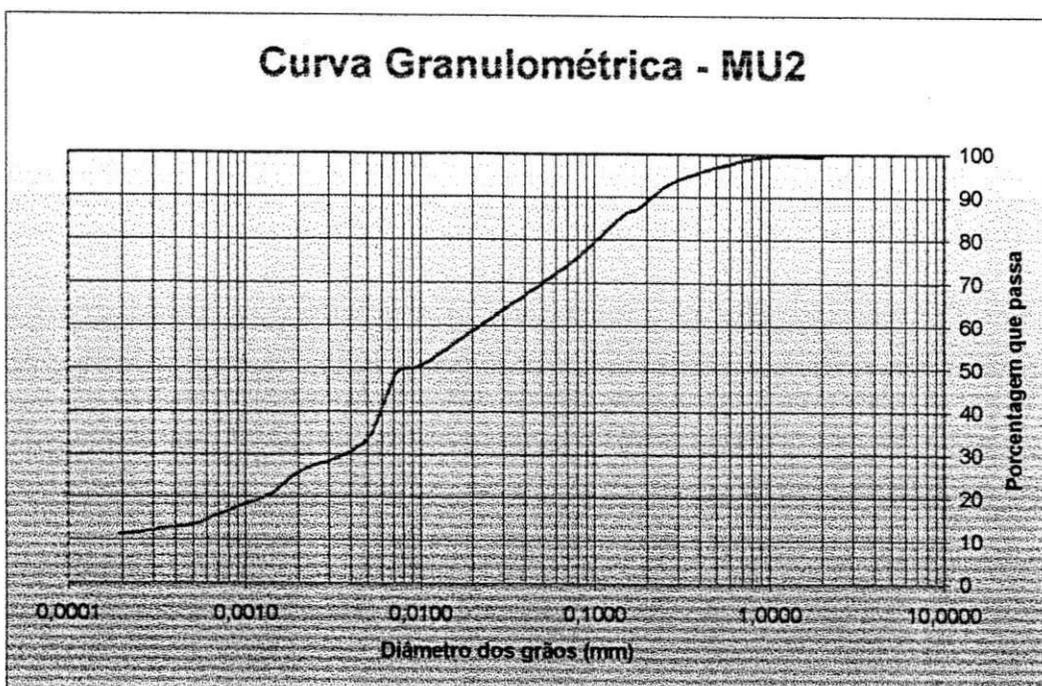


Figura 17 – Curva Granulométrica da amostra MU2.

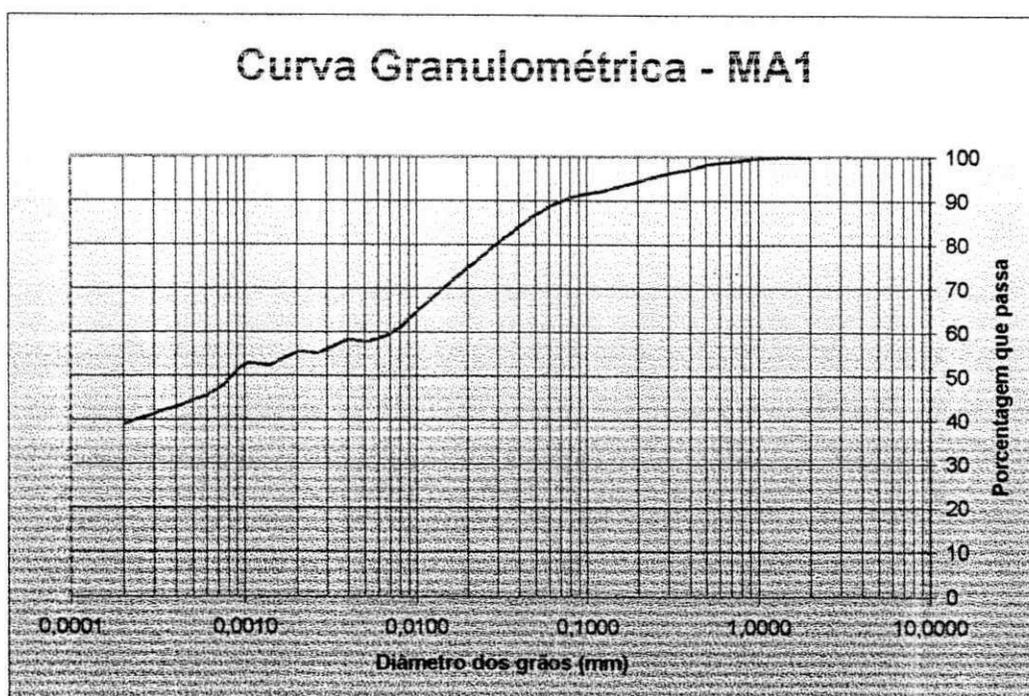


Figura 18 – Curva Granulométrica da amostra MA1

Os resultados obtidos através da análise granulométrica por peneiramento e sedimentação estão percentualmente apresentados na Tabela 5.

	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Fina	Argila+Silte
	(%)	(%)	(%)	(%)
SR1	0,5	0,5	9,9	89,1
SR2	0	0,8	6,7	92,4
MU1	0,3	1,0	13,7	84,9
MU2	0,6	2,0	27,5	69,9
MA1	0,1	2,1	9,5	88,3

Tabela 5 – Resumo da Granulometria das 5 amostras.

Através da análise dos resultados da Tabela 5, observa-se que as amostras ensaiadas apresentaram, em sua grande maioria, grande quantidade de fração fina (Silte + Argila), sendo todos classificados como solos finos, seguindo método encontrado em referência (25), utilizado para classificação pelo método do Sistema Unificado de Classificação (U.S.C.).

As amostras coletadas no município de Santa Rita (SR1 e SR2) apresentaram alto teor de fração fina, com destaque para a amostra SR2, que apresentou percentual de fração Argila+Silte mais alto de todas as amostras.

De acordo com o Sistema Unificado de Classificação (U.S.C.), podemos classificar SR1 como CL, ou seja, um solo argiloso de baixa compressibilidade; enquanto a amostra SR2 foi classificada como CH, ou seja, um solo argiloso de alta compressibilidade.

As amostras coletadas no município de Mulungu (MU1 e MU2) apresentaram elevados índices de fração fina (Silte + Argila), onde a amostra MU2 foi a que apresentou o maior percentual de Areia Fina de todas as amostras.

De acordo com o Sistema Unificado de Classificação (U.S.C.), podemos classificar MU1 como CH, ou seja, um solo argiloso de alta compressibilidade; enquanto a amostra MU2 foi classificada como ML, ou seja, um solo siltoso de baixa compressibilidade.

A amostra coletada no município de Mamanguape (MA1), assim como as demais, também apresentou elevado teor de fração fina, ela foi classificada como CL, ou seja, um solo argiloso de baixa compressibilidade.

4.1.2. Determinação dos Limites de Liquidez e Plasticidade

Os resultados obtidos com a determinação dos limites de liquidez e de plasticidade estão apresentados na Tabela 6.

	LL	LP	IP
	(%)	(%)	(%)
SR1	47,9	24,3	23,6
SR2	57,7	33,5	24,2
MU1	61,2	27,8	33,4
MU2	38,8	20,3	18,5
MA1	47,6	20,5	27,1

Tabela 6 – Resumo dos índices de plasticidade das cinco amostras.

Após análise comparativa do conjunto de resultados obtidos observou-se o seguinte:

- a) O Índice de Plasticidade, entre todas as amostras, variam de 18,5% a 33,4%.
- b) O maior Limite de Liquidez foi encontrado na amostra MU1, com 61,2%
- c) O maior Limite de Plasticidade foi encontrado na amostra SR2, com 33,5%
- d) O menor Limite de Liquidez e de Plasticidade foi encontrado na amostra MU2, com 38,8% e 20,3% respectivamente.

Todas as amostras foram analisadas com base na Tabela 7. Esta tabela tem como base à classificação de argilas quanto ao seu índice de plasticidade.

Argilas	Índice de Plasticidade
Excessivamente plástica	>25
Plástica	19 a 25
Excelente	17 a 19
Boa	15 a 17
Regular	13 a 15
Fraca	11 a 13
Material de Capa	5 a 11

Tabela 7 – Classificação das argilas quanto ao Índice de Plasticidade.

As amostras coletadas no município de Santa Rita, SR1 e SR2, foram classificadas como Plástica, de acordo com a Tabela 7.

As amostras coletadas no município de Mulungu, MU1 e MU2, foram classificadas como Excessivamente Plástica e Excelente, respectivamente.

A amostra do município de Mamanguape (MA1) apresentou o mesmo comportamento da amostra do município de Mulungu (MU1), e foi classificada como Excessivamente Plástica, com 27,1%.

A Tabela 8 resume como foi o comportamento das amostras de acordo com a classificação por índice de plasticidade.

Classificação	Quantidade	Percentual
Excessivamente Plástica	2	40%
Plástica	2	40%
Excelente	1	20%

Tabela 8 – Resumo percentual da classificação das amostras

4.1.3. Massa Específica Real pelo Método do Picnômetro

Os resultados obtidos com a determinação da massa específica real pelo método do picnômetro estão apresentados na Tabela 9.

Amostra	Massa Específica Real (g/cm ³)
SR1	2,48
SR2	2,33
MU1	2,42
MU2	2,43
MA1	2,65

Tabela 9 – Massa Específica Real das amostras

Após uma análise do conjunto de resultados para a massa específica real das argilas, observou-se o seguinte:

- a) As amostras coletadas no município de Santa Rita, SR1 e SR2, obtiveram valor de massa específica real aproximado, correspondendo a 2,48 g/cm³ e 2,33 g/cm³.
- b) As amostras coletadas no município de Mulungu, MU1 e MU2, obtiveram valor de massa específica real aproximado, correspondendo a 2,42 g/cm³ e 2,43 g/cm³.
- c) As amostra do município de Mamanguape, MA1, obteve valor de massa específica real igual a 2,65 g/cm³.

4.1.4. Caracterização Química das Amostras

Com o objetivo de ser feita uma identificação mineralógica, as amostras foram analisadas através de método de análise química no Laboratório de Análises Minerais – LAM - Campus - UFCG.

Os resultados obtidos dessa análise apresentaram para as amostras as composições químicas mostradas na Tabela 10.

Amostra	P ₂ O ₅ (%)	RI (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
SR1	7,27	3,29	56,03	8,51	21,80	traços	traços	1,01	2,03
SR2	9,51	5,14	51,21	8,41	22,79	traços	traços	0,81	2,06
MU1	8,21	4,94	53,13	6,57	24,36	traços	traços	1,01	1,73
MU2	6,45	5,70	54,46	8,57	23,05	traços	traços	0,68	0,97
MA1	14,32		54,95	4,00	25,30	traços	0,70	0,25	0,33

P ₂ O ₅	Perda ao Rubro	CaO	Óxido de Cálcio
RI	Resíduo insolúvel	MgO	Óxido de Magnésio
SiO ₂	Óxido de Silício	Na ₂ O	Óxido de Sódio
Fe ₂ O ₃	Óxido de Ferro	K ₂ O	Óxido de Potássio
Al ₂ O ₃	Óxido de Alumínio		

Tabela 10 – Composição química das amostras

Com base nos dados obtidos na análise química das amostras e mostrado na Tabela 10 tem-se as seguintes conclusões:

- 1) As amostras coletadas no município de Santa Rita, SR1 e SR2 apresentaram composição química similares as de folhelhos argilosos brasileiros, caracterizando-se por apresentarem teores elevados de potássio e ferro (3).
- 2) As amostras coletadas no município de Mulungu, MU1, MU2 apresentaram características químicas similares a de outras argilas brasileiras para cerâmica vermelha. Entretanto, comparando com valores de composição química da caulinita (3), observa-se que os teores de sílica são inferiores e os teores de alumina são superiores ao valor padrão.
- 3) A amostra coletadas no município de Mamanguape , MA1 , apresentou um teor elevado de óxido de alumínio e baixo teor de óxido de ferro, sódio e potássio, o que lhes proporciona uma tendência a argila refratária.

4.1.4.1. Ponto de Fusão

A determinação dos pontos de fusão de cada amostra foi estabelecida a partir de cálculos feitos utilizando a da fórmula de Schuen, apresentada a seguir, onde se incluíram os dados obtidos na análise química.

$$\text{“Temperatura de Fusão”} = \frac{360 + Al_2O_3 - RO}{0,228} \text{ em}^\circ C$$

Nesta fórmula, Al_2O_3 é o teor de Al_2O_3 da argila calcinada, fazendo-se $Al_2O_3 + SiO_2 = 100$ e RO é a soma dos teores dos outros óxidos, expressos na mesma base.

Os resultados encontrados a partir da fórmula de Schuen – as temperaturas de fusão de cada amostra – estão listados na Tabela 11. Segundo Souza Santos, 1975, esse “ponto de fusão”, dado pela fórmula de Schuen, é aproximadamente igual a refratariedade ou cone pirométrico Orton equivalente de argila, que é definido pela norma técnica N° 69 da ABNT, no entanto só é válido para argilas caulínicas puras.

Amostra	Temperatura de Fusão Fórmula Schuen (°C)
SR1	1646,9
SR2	1665,9
MU1	1674,0
MU2	1662,7
MA1	1680,2

Tabela 11 – Ponto de fusão das amostras pelo método de Schuen

4.1.5. Difração de Raios X

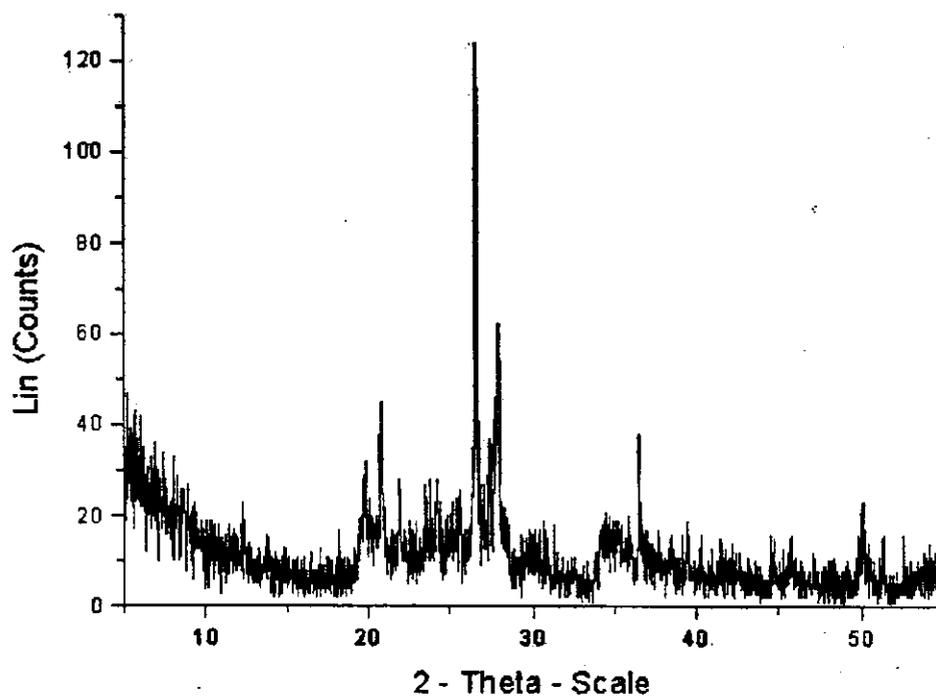


Figura 19 – Difratoograma da amostra SR1

Ângulo 2-Theta ^o	D Angstrom	Intensidade Cps	Intensidade %
12,421	7,129	23	18,5
19,890	4,472	27	21,2
28,830	4,261	45	36,3
21,963	4,044	28	22,6
24,240	3,669	24	19,4
26,609	3,347	124	100,0
27,442	3,248	37	29,8
27,953	3,189	62	50,0
30,784	2,902	17	13,7
36,525	2,458	38	30,6

Tabela 12 – Tabela de picos do difratograma da amostra SR1

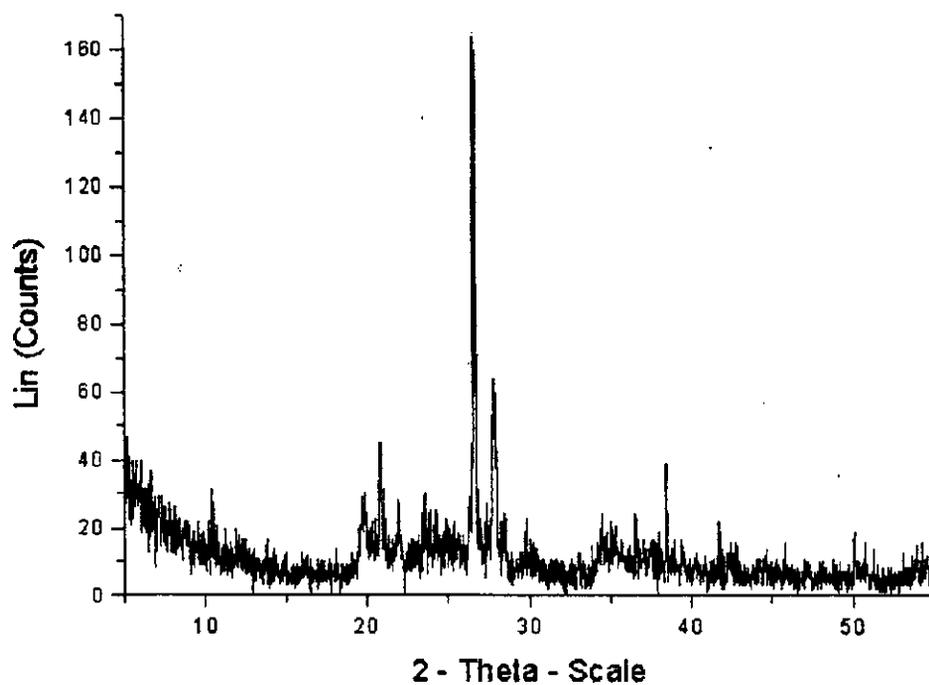


Figura 20 – Difratograma da amostra SR2

Ângulo	D	Intensidade	Intensidade
2-Theta ^o	Angstrom	Cps	%
19,841	4,471	24	14,6
20,837	4,260	45	27,4
22,003	4,036	27	16,5
23,558	3,773	30	18,3
24,284	3,662	25	15,2
26,624	3,345	164	100,0
27,844	3,201	64	39,0
36,569	2,455	24	14,6
38,454	2,339	26	15,9
50,100	1,819	19	11,6

Tabela 13 – Tabela de picos do difratograma da amostra SR2

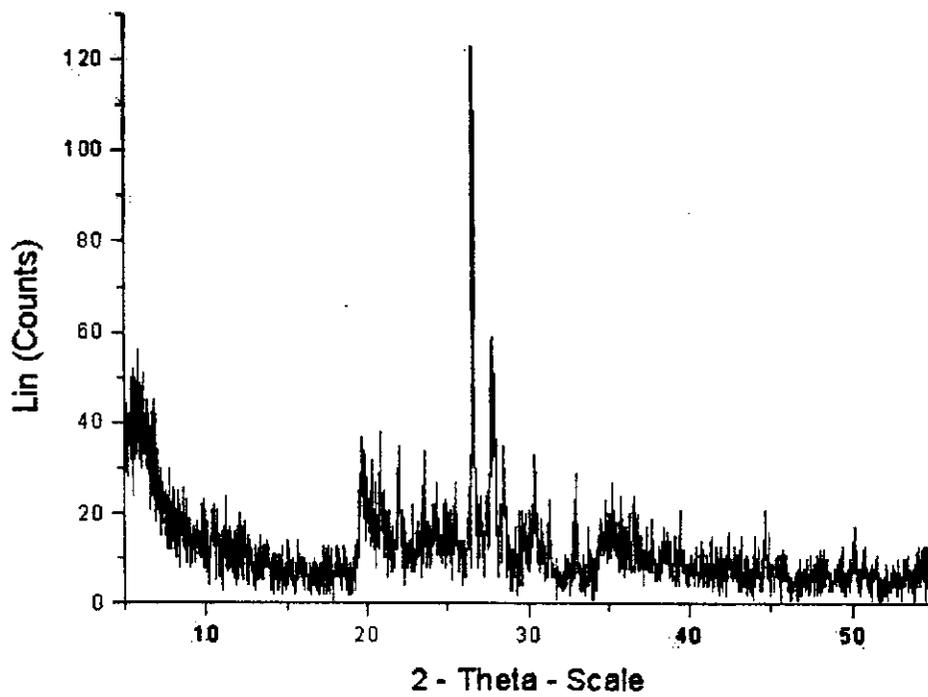


Figura 21 – Difratograma da amostra MU1

Ângulo 2-Theta ^o	D Angstrom	Intensidade Cps	Intensidade %
19,742	4,493	30	24,6
20,880	4,251	31	25,4
22,003	4,036	35	28,7
26,612	3,347	122	100,0
27,849	3,201	43	35,2
28,494	3,130	35	28,7
30,417	2,936	33	27,0
32,993	2,713	21	17,2
44,641	2,028	16	13,1

Tabela 14 – Tabela de picos do difratograma da amostra MU1

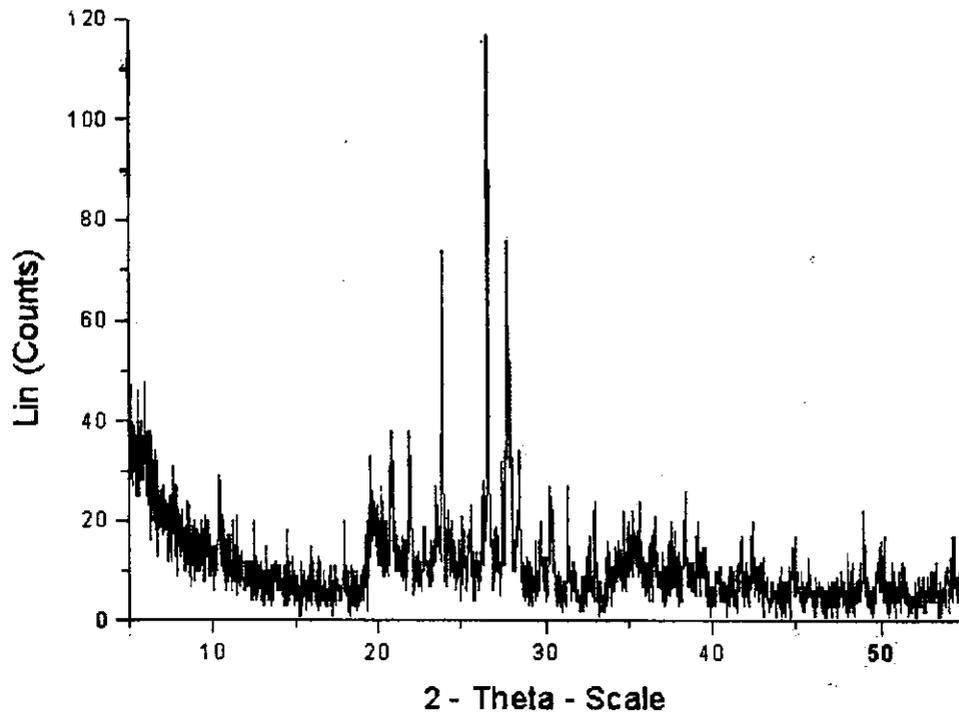


Figura 22 – Difratograma da amostra MU2

Ângulo	D	Intensidade	Intensidade
2-Theta°	Angstrom	Cps	%
19,703	4,502	19	16,2
20,859	4,255	38	32,5
21,937	4,048	38	32,5
23,913	3,718	74	63,2
26,621	3,346	117	100,0
27,820	3,204	57	48,7
30,380	2,940	23	19,7
48,992	1,858	22	18,8

Tabela 15 – Tabela de picos do difratograma da amostra MU2

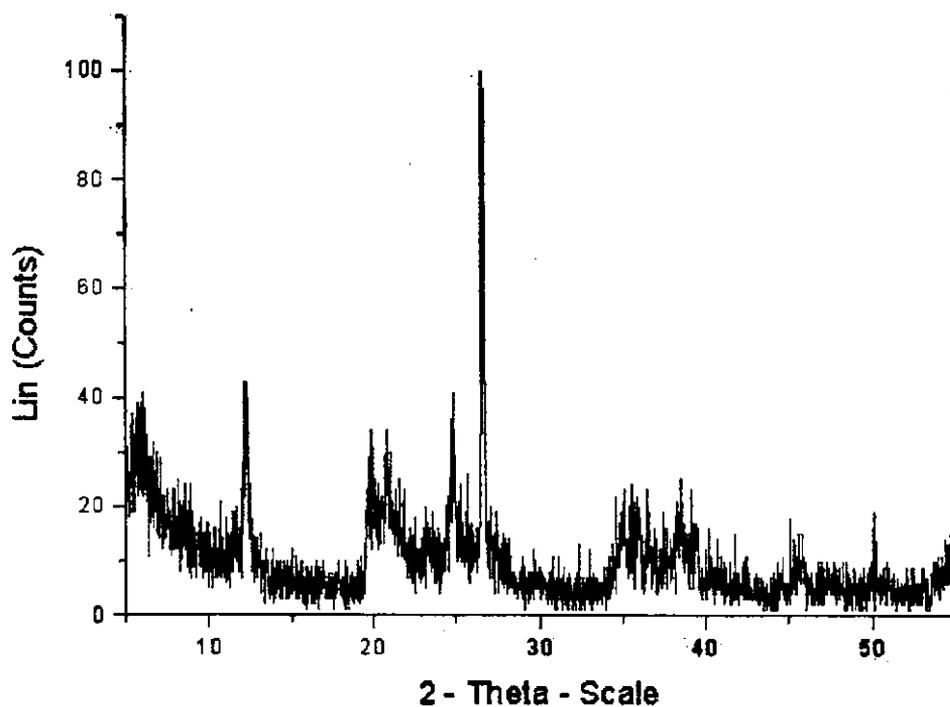


Figura 23 – Difratoograma da amostra MA1

Ângulo 2-Theta°	D Angstrom	Intensidade Cps	Intensidade %
12,302	7,189	43	43,0
19,862	4,466	33	33,0
20,837	4,260	34	34,0
24,889	3,574	37	37,0
26,620	3,346	100	100,0
36,545	2,457	23	23,0
39,441	2,283	17	17,0
50,119	1,819	19	19,0

Tabela 16 – Tabela de picos do difratograma da amostra MA1

A partir dos difratogramas – gráficos de difração de raios-x – obtidos, podemos observar que cada amostra apresentou picos de reflexão que correspondem aos seguintes argilominerais:

Amostra SR1:

- a) Quartzo: 4,261 A°, 3,347 A° e 2,458 A°
- b) Caulinita: 7,129 A°, 4,471 A°, 3,189 A°
- c) Ilita: 4,471 A°, 4,404 A°, 3,669 A°, 2,902 A°

Essa amostra, coletada no município de Santa Rita, indica a presença de picos referentes a presença dos minerais: quartzo, caulinita e ilita. Observamos que existe a sobreposição de alguns picos no difratograma que pode mascarar a presença de outros minerais. Sabemos que essas sobreposições podem acontecer em alguns picos, mas nunca em todos. Apenas um pico foi sobreposto, que foi entre os minerais de caulinita e ilita (4,471 A°).

Amostra SR2:

- a) Quartzo: 4,260 A°, 3,345 A°, 2,455 A° e 1,819 A°
- b) Ilita: 4,471 A°, 4,260 A°, 4,036 A°, 3,662 A°, 3,345 A°, 3,201 A° e 2,339 A°

Essa amostra, coletada no município de Santa Rita, indica a presença de picos referentes a presença dos minerais: quartzo e ilita. Observamos que existe a sobreposição de alguns picos no difratograma que pode mascarar a presença de outros minerais. Sabemos que essas sobreposições podem acontecer em alguns picos, mas nunca em todos. Dois picos foram sobrepostos entre os minerais de quartzo e ilita (4,260 A° e 3,345 A°)

Amostra MU1:

- a) Quartzo: 4,251 A° e 3,347 A°
- b) Ilita: 4,493 A°, 3,201 A°, 3,130 A°, 2,936 A°, 2,713 A° e 2,028 A°

Essa amostra, coletada no município de Mulungu, indica a presença de picos referentes a presença dos minerais: quartzo e ilita. Observamos que existe a sobreposição de alguns picos no difratograma que pode mascarar a presença de outros minerais. Sabemos que essas sobreposições podem acontecer em alguns picos, mas nunca em todos. Nessa amostra não houve sobreposição de picos.

Amostra MU2:

- a) Quartzo: 4,255 A° e 3,346 A°
- b) Ilita: 4,502 A°, 4,048 A°, 3,718 A°, 3,204 A°, 2,940 A° e 1,858 A°

Essa amostra, coletada no município de Mulungu, indica a presença de picos referentes a presença dos minerais: quartzo e ilita. Observamos que existe a sobreposição de alguns picos no difratograma que pode mascarar a presença de outros minerais. Sabemos que essas sobreposições podem acontecer em alguns picos, mas nunca em todos. Nessa amostra não houve sobreposição de picos.

Amostra MA1:

- a) Quartzo: 4,260 A°, 3,346 A°, 2,457 A°, 2,283 A° e 1,819 A°
- b) Caulinita: 7,189 A°, 4,466 A° e 3,574 A°

Essa amostra, coletada no município de Mamanguape, indica a presença de picos referentes a presença dos minerais: quartzo e caulinita. Observamos que existe a sobreposição de alguns picos no difratograma que pode mascarar a presença de outros minerais. Sabemos que essas sobreposições podem acontecer em alguns picos, mas nunca em todos. Nessa amostra não houve sobreposição de picos.

4.1.6. Análise Térmica Diferencial (ATD)

Todas as amostras foram ensaiadas em um Analisador Termodiferencial modelo RB3000 da BP Engenharia, no Departamento de Engenharia de Materiais – DEMa - CCT – UFCG, conforme mostra a Figura 24.

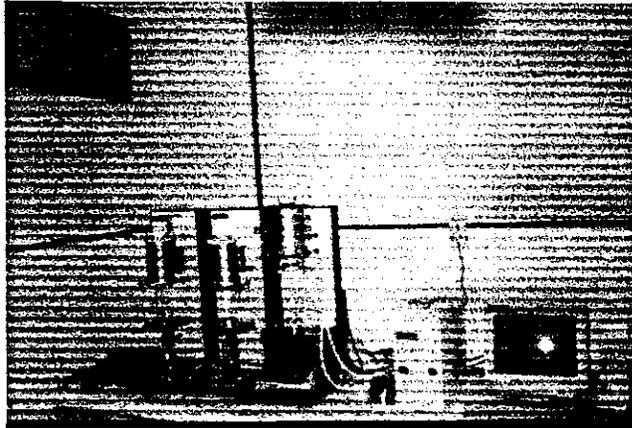


Figura 24 – Analisador Termodiferencial utilizados nas amostras

A partir dos termogramas – gráficos de análise térmica diferencial - obtidos, podemos observar que cada amostra apresentou picos endotérmicos e exotérmicos que representam o seguinte comportamento térmico das amostras:

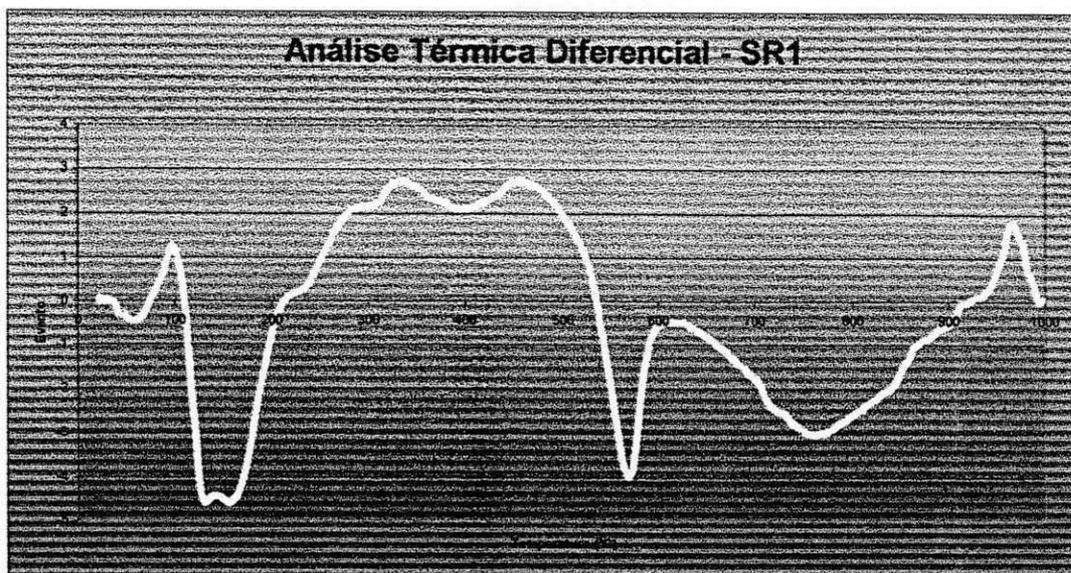


Figura 25 -Termograma da amostra SR1

Amostra SR1 – Apresentou:

- Pequeno pico endotérmico de 30°C a 80°C referente liberação de água livre;
- Pequeno pico exotérmico de 80°C a 110°C referente a queima de matéria orgânica;
- Pico endotérmico de 110°C a 200°C referente a liberação de água adsorvida na superfície externa dos argilominerais.;
- Pico exotérmico de base larga de 210°C a 530°C referente a combustão de matéria orgânica;
- Pequeno pico endotérmico de base larga de 350°C a 450°C associada a desidroxilação de hidróxidos na forma de cristais;
- Pico endotérmico de 550°C a 600°C referente a perda de hidroxila;
- Pico endotérmico de base larga de 620°C a 900°C relativo a perda da estrutura cristalina da mica-ilita
- Pico exotérmico de 950°C a 980°C referente a nucleação da mulita .

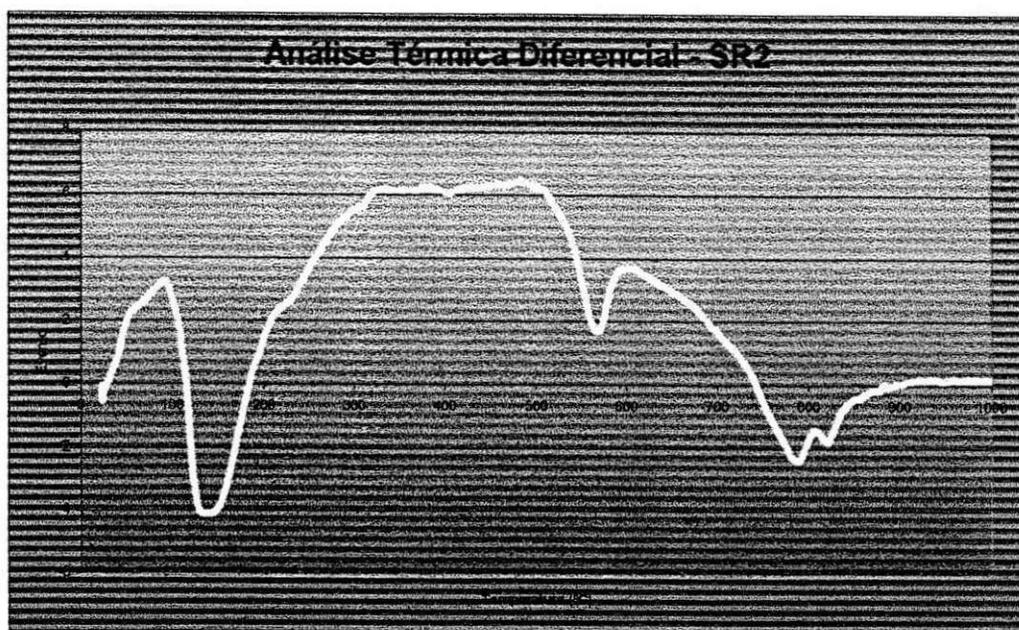


Figura 26 -Termograma da amostra SR2

Amostra SR2 – Apresentou:

- Pico exotérmico de 25°C a 110°C referente a queima de matéria orgânica;
- Pico endotérmico de 110°C a 180°C referente a liberação de água adsorvida na superfície externa dos argilominerais.;
- Pico exotérmico de base larga de 200°C a 500°C referente a combustão de matéria orgânica;
- Pequeno pico endotérmico de 500°C a 600°C referente a perda água de hidroxila;
- Pico endotérmico de base larga com pequeno pico exotérmico de 700°C a 900°C relativo a perda da estrutura cristalina (pico endotérmico) e a formação de espinelio (pico exotérmico) da mica-ilita.

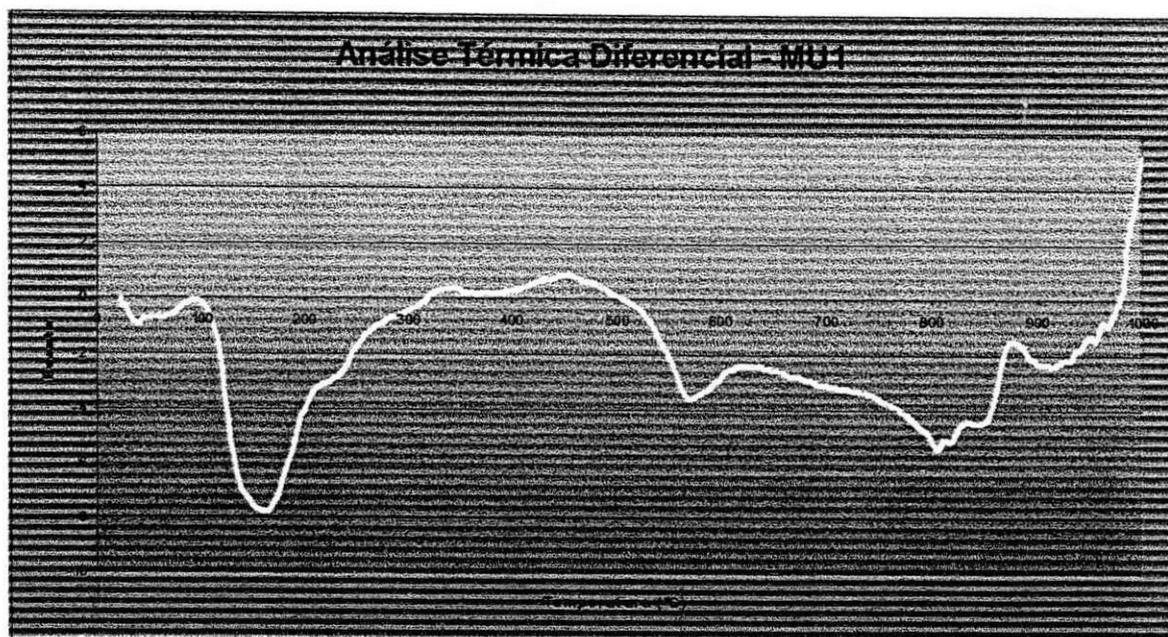


Figura 27 -Termograma da amostra MU1

Amostra MU1 – Apresentou:

- Pico exotérmico de 20°C a 90°C perca de água livre
- Pico endotérmico de 100°C a 280°C referente a liberação de água adsorvida na superfície externa dos argilominerais;
- Pico exotérmico de base larga de 300°C a 510°C referente a combustão de matéria orgânica;
- Pico endotérmico de 520°C a 600°C referente a perda de hidroxila;
- Pico endotérmico de base larga com pequeno pico exotérmico de 700°C a 880°C relativo a perda da estrutura cristalina (pico endotérmico) e a formação de espinélio (pico exotérmico) da mica-ilita.
- Observação : O termograma a partir da temperatura de 800°C apresenta pequenos picos endotérmicos e exotérmicos, provavelmente devido a algum defeito no equipamento utilizado.

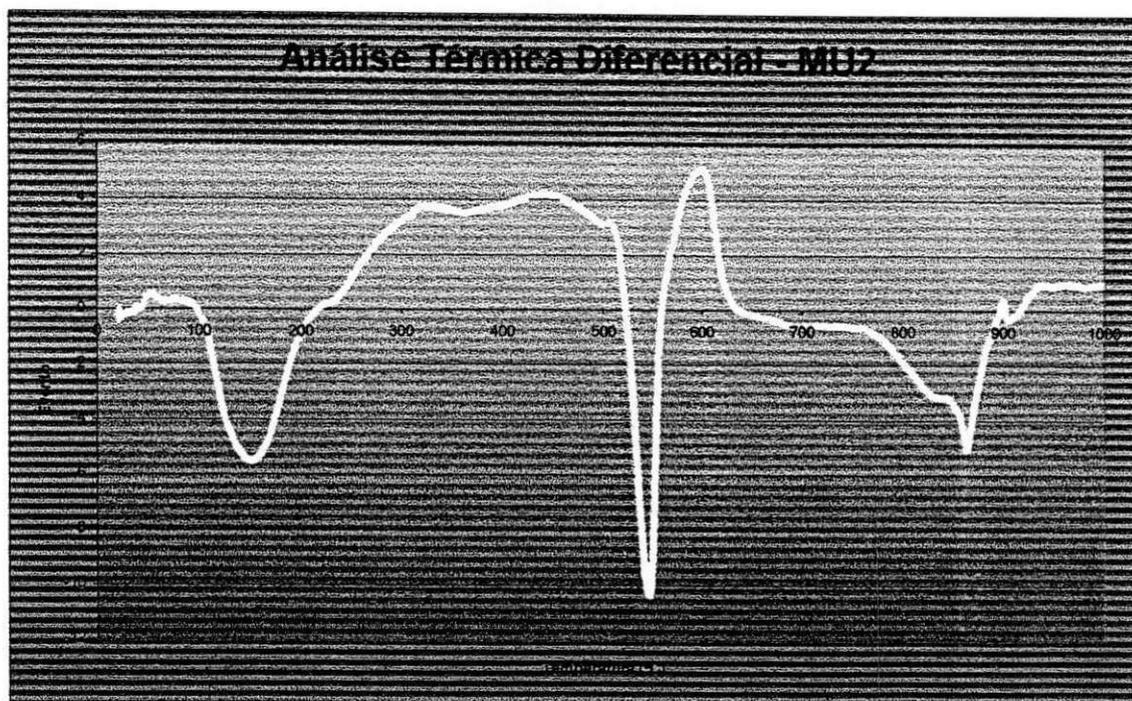


Figura 28 -Termograma da amostra MU2

Amostra MU2 – Apresentou:

- Pico endotérmico de 100°C a 200°C referente a liberação de água adsorvida na superfície externa dos argilominerais;
- Pico exotérmico de base larga de 200°C a 520°C referente a combustão de matéria orgânica;
- Pico endotérmico de 520°C a 560°C referente a perda de hidroxila;
- Pico exotérmico de 560°C a 640°C produzido pelo carbono tipo grafita;
- Pico endotérmico de base larga com pequeno pico exotérmico de 750°C a 900°C relativo a perda da estrutura cristalina (pico endotérmico) e a formação de espinélio (pico exotérmico) da mica-ilita.

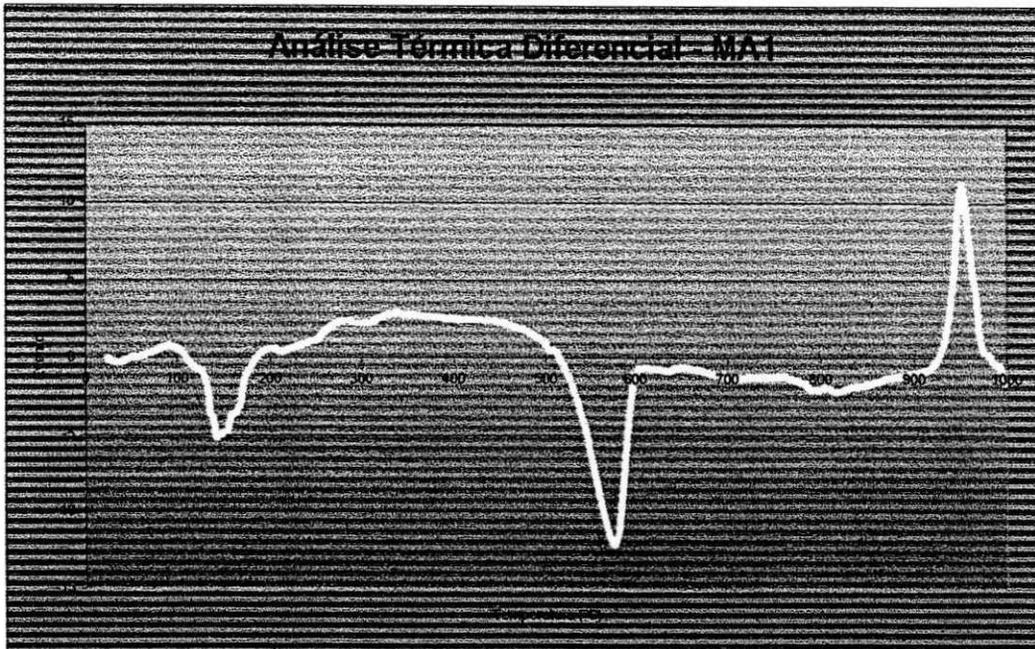


Figura 29 -Termograma da amostra MA1

Amostra MA1 – Apresentou:

- Pico exotérmico de 50°C a 100°C queima de matéria orgânica;
- Pequeno pico endotérmico de 110°C a 180°C referente a liberação de água adsorvida na superfície externa dos argilominerais;
- Pico exotérmico de base larga de 190°C a 510°C referente a combustão de matéria orgânica;
- Pico endotérmico de 510°C a 600°C referente a perda de hidroxila;
- Pico exotérmico de 920°C a 970°C referente a nucleação da mulita .

4.2. Estudo de Argila com a Incorporação de Pó de Madeira

Com os resultados observados nos ensaios de caracterização das cinco amostras anteriores – SR1, SR2, MU1, MU2 e MA1 – foi escolhida a amostra proveniente do município de Mamanguape (MA1) para a elaboração dos corpos de prova. Esta escolha se baseou nas suas características refratárias, sendo ela a única que suportou as temperaturas de 950°C, 1050°C e 1200°C.

Foram conformados quinze corpos de provas (ou tijolos), por extrusão, com a amostra MA1. Após o processo de secagem ao ar livre e, posteriormente, em estufa elétrica (regulada a 110°C), os tijolos foram queimados, cinco a cinco, nas temperaturas 950°C, 1050°C e 1200°C, com uma taxa de aquecimento de 10°C/min.

Ao analisar os tijolos depois do processo de queima, constatou-se uma grande e profunda rachadura longitudinal, além várias fissuras em todo o seu corpo, como mostra a Figura 30. Esse comportamento já era esperado devido a grande plasticidade do material e à elevada velocidade de aquecimento utilizada.



Figura 30 – Corpo de prova com rachadura

Essas rachaduras poderiam ser evitadas com a utilização de uma velocidade de aquecimento menor, no entanto, optou-se em preservar a taxa de 10°C/min e utilizar uma composição da amostra MA1 com areia passada em uma peneira ABNT N° 80 (abertura 0,177 mm), visando diminuir a plasticidade do material.

A proporção utilizada para a obtenção do material final foi a seguinte:

2 partes de argila;

1 parte de areia.

Com essa composição, que a partir de agora chamaremos de MCR, Material Cerâmico Refratário, foram elaborados novos corpos de prova, através da extrusora, que também foram queimados nas temperaturas de 950°C, 1050°C e 1200°C. Dessa vez não foram observadas rachaduras ou fissuras. Finalmente, foram confeccionados os tijolos, com e sem adição de pó de madeira, os quais foram utilizados para os ensaios tecnológicos.

4.2.1. Propriedades Físico-Mecânicas dos Corpos Cerâmicos com a Incorporação de Pó de Madeira Antes da Queima

4.2.1.1 Determinação do Teor de Umidade dos Corpos de Prova

Na Tabela 17 e na Figura 31 são apresentados os resultados do teor de umidade das amostras de MCR variando o percentual de material orgânico nele contido.

Tabela 17 - Determinação do Teor de Umidade dos Corpos de Prova

Percentual de Material Orgânico	0%	10%	20%
Teor de Umidade (%)	24,29	24,41	26,48

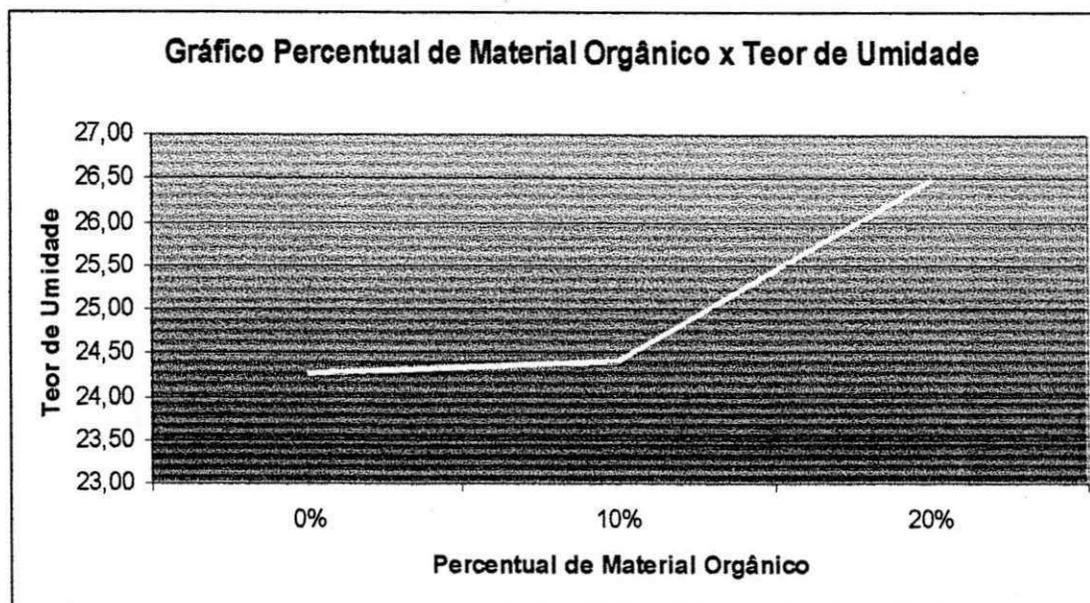


Figura 31 - Gráfico Percentual de Material Orgânico x Teor de Umidade

Com base nos dados obtidos podemos observar que o teor de umidade aumenta com o aumento do percentual de matéria orgânica em MCR. Essa observação pode ser explicada pela própria característica do material orgânico, pois o pó de madeira tem uma tendência bem maior de absorver a água do que a argila.

4.2.1.2 Determinação da Retração Linear de Secagem dos Corpos de Prova

Na Tabela 18 e na Figura 32, são apresentados os resultados da retração linear de secagem das amostras de MCR variando o percentual de material orgânico nele contido.

Tabela 18 - Determinação da Retração Linear de Secagem dos Corpos de Prova

Percentual de Material Orgânico	0%	10%	20%
Retração Linear (%)	5,469	5,387	5,749

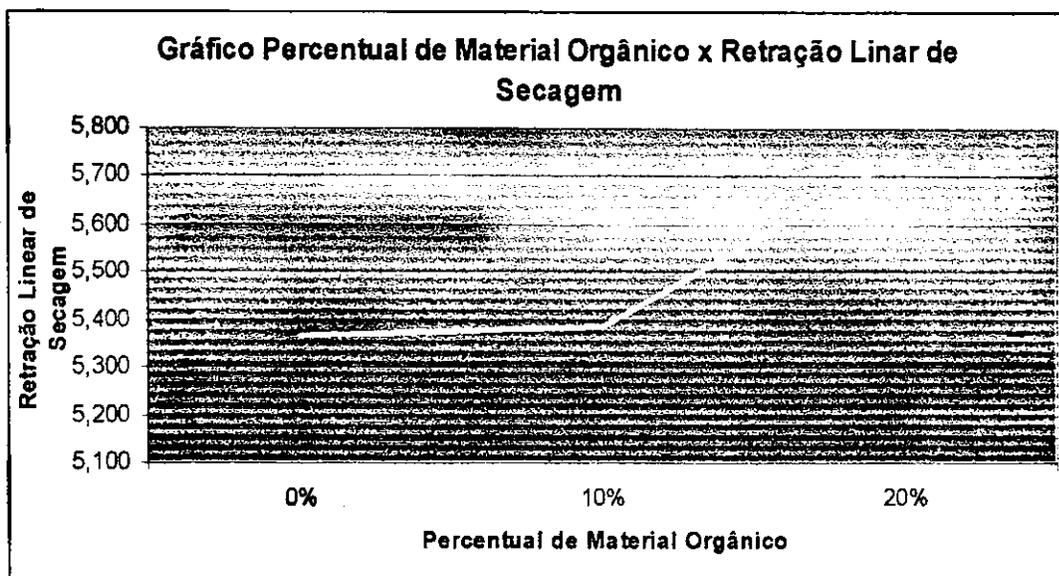


Figura 32 - Gráfico Percentual de Material Orgânico x Retração Linear de Secagem

Com base nos dados obtidos podemos observar que a retração linear de secagem apresenta um sutil aumento à medida que aumentamos o percentual de matéria orgânica em MCR.

4.2.2. Propriedades Físico-Mecânicas dos Corpos Cerâmicos com a Incorporação de Pó de Madeira Depois da Queima

4.2.2.1. Determinação da Perda de Massa ao Fogo dos Corpos de Prova

A perda de massa ao fogo, como o próprio nome sugere, indica a quantidade de massa que o material perdeu durante o processo de queima. Essa propriedade, assim como o teor de umidade, também depende do tipo de argila, e do comportamento de seus argilominerais na presença de elevadas temperaturas.

Na Tabela 19 e na Figura 33, são apresentados os resultados da perda de massa ao fogo das amostras de MCR variando a temperatura com diferentes percentuais de matéria orgânica.

Tabela 19 – Perda de Massa ao Fogo, variando a temperatura.

	950°C	1050°C	1200°C
Amostra com 0% de material adicionado	5,90	6,38	6,44
Amostra com 10% de material adicionado	10,23	11,20	12,03
Amostra com 20% de material adicionado	17,31	17,46	18,97

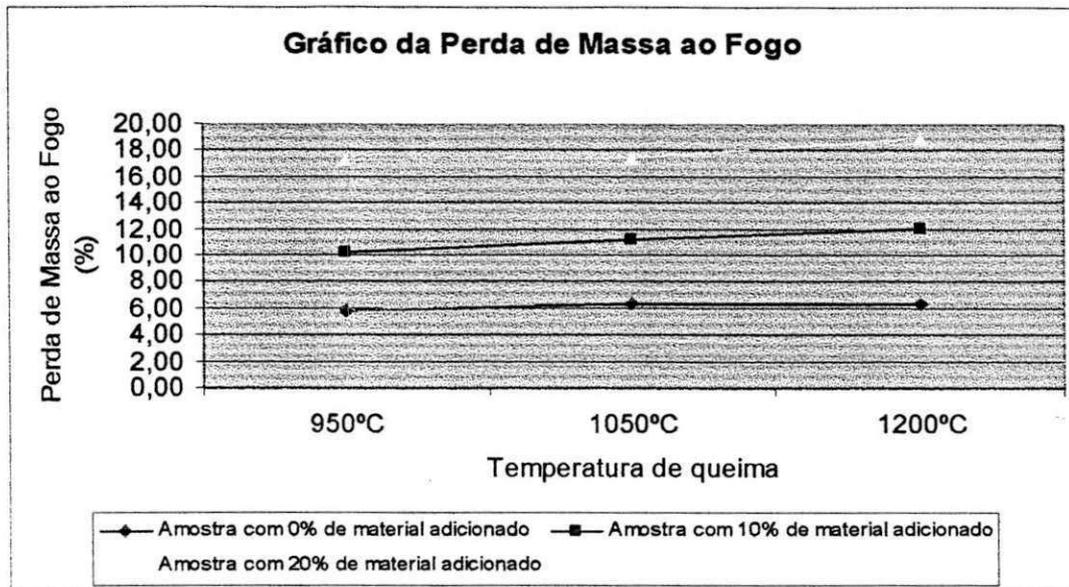


Figura 33 – Perda de Massa ao Fogo, variando a temperatura.

Com base nos dados obtidos e apresentados na Tabela 19 e na Figura 33 podemos observar que a medida em que a temperatura de queima aumenta, independente do percentual de material orgânico da amostra, a perda de massa ao fogo tem um sutil aumento.

Na Tabela 20 e na Figura 34, são apresentados os resultados da perda de massa ao fogo das amostras de MCR variando os percentuais de matéria orgânica com diferentes temperaturas.

Tabela 20 – Perda de Massa ao Fogo, variando os percentuais de matéria orgânica.

	0%	10%	20%
Queima a 950°C	5,90	10,23	17,31
Queima a 1050°C	6,38	11,20	17,46
Queima a 1200°C	6,44	12,03	18,97

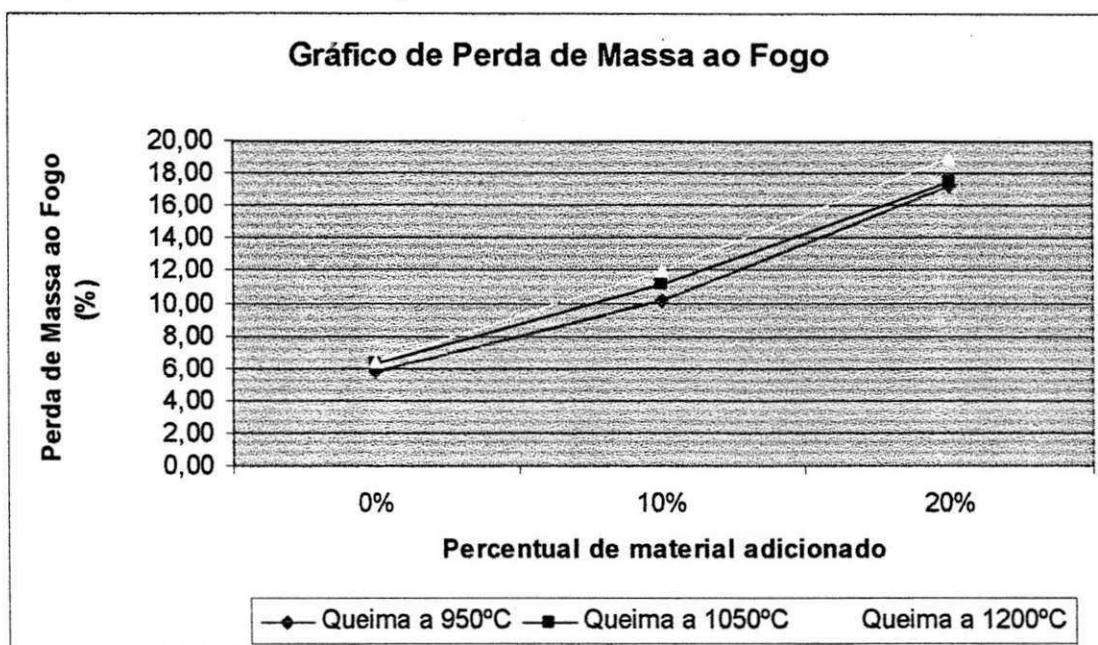


Figura 34 – Perda de Massa ao Fogo, variando os percentuais de matéria orgânica.

Com base nos dados obtidos e apresentados na Tabela 20 e na Figura 34 podemos observar que a medida que aumentamos o percentual de matéria orgânica, independente da temperatura de queima, a perda de massa ao fogo aumenta.

4.2.2.2. Determinação da Retração Linear de Queima dos Corpos de Prova

A retração linear de queima indica se houve redução no tamanho da amostra e a sua intensidade após o processo de queima, ela também depende fundamentalmente do processo de conformação utilizado na elaboração da peça.

Na Tabela 21 e na Figura 35, são apresentados os resultados da retração linear de queima das amostras de MCR variando a temperatura com diferentes percentuais de matéria orgânica.

Tabela 21 – Retração Linear de Queima, variando a temperatura

	950°C	1050°C	1200°C
Amostra com 0% de material adicionado	6,02	6,40	6,95
Amostra com 10% de material adicionado	6,13	6,58	7,10
Amostra com 20% de material adicionado	6,50	6,55	7,21

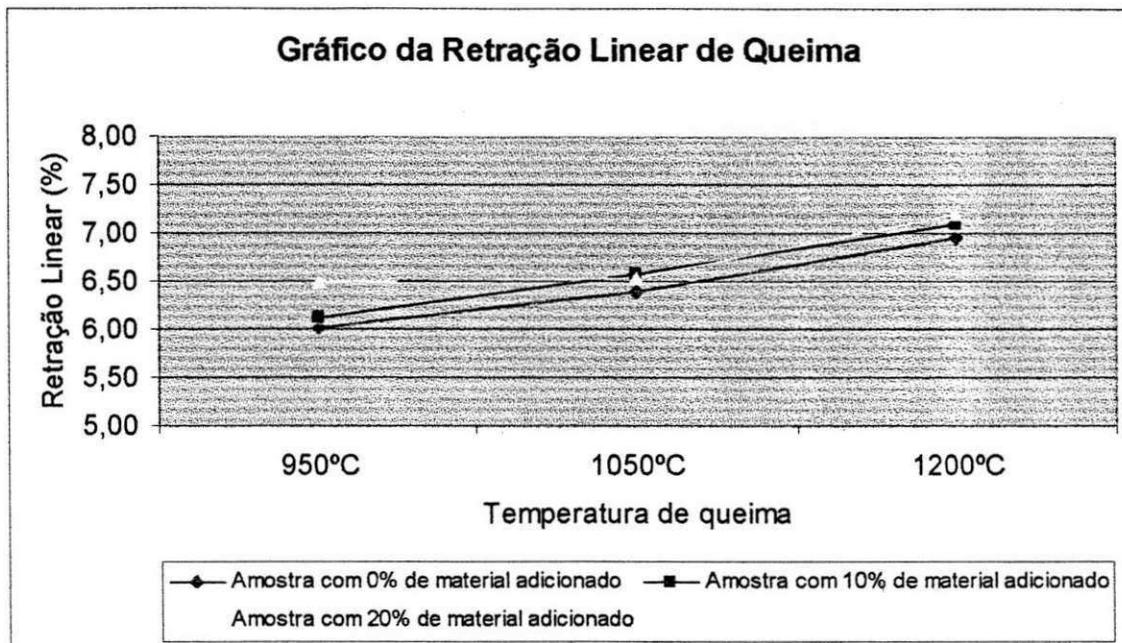


Figura 35 – Retração Lineares de Queima, variando a temperatura.

Com base nos dados obtidos e apresentados na Tabela 21 e na Figura 35 podemos observar que a medida em que a temperatura de queima aumenta, independente do percentual de material orgânico da amostra, a retração linear de queima aumenta. Também podemos observar que a partir de 1050°C a retração linear de queima, independente do percentual de matéria orgânica, tendem a ficar com valores semelhantes.

Na Tabela 22 e na Figura 36, são apresentados os resultados da perda de massa ao fogo das amostras de MCR variando os percentuais de matéria orgânica com diferentes temperaturas.

Tabela 22 – Perda de Massa ao Fogo, variando os percentuais de matéria orgânica.

	0%	10%	20%
Queima a 950°C	6,02	6,13	6,50
Queima a 1050°C	6,40	6,58	6,55
Queima a 1200°C	6,95	7,10	7,21

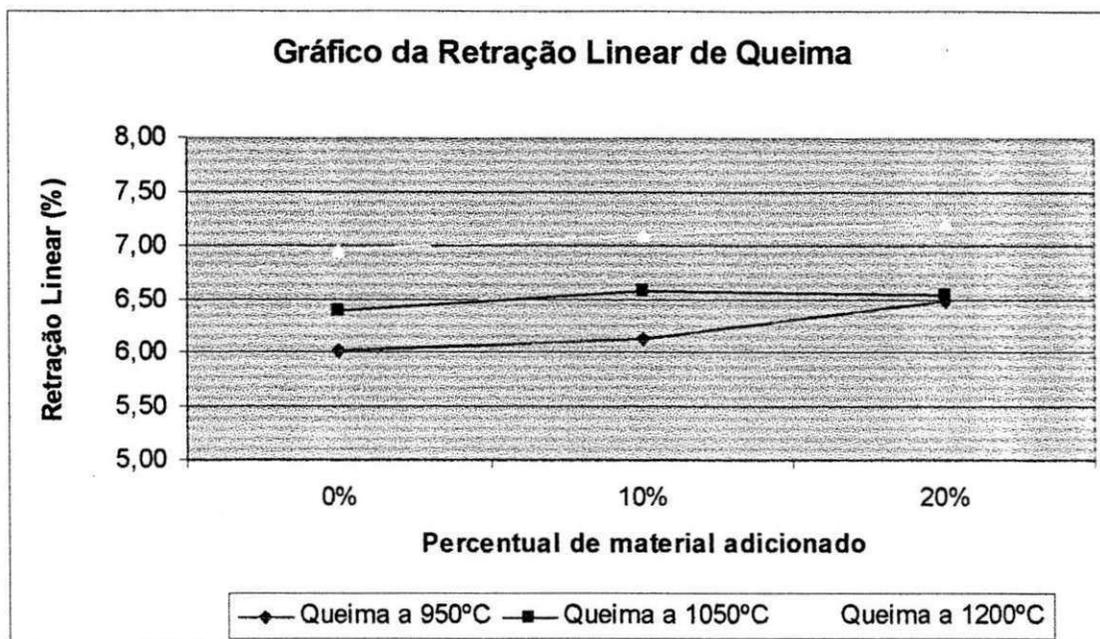


Figura 36 – Perda de Massa ao Fogo, variando os percentuais de matéria orgânica.

Com base nos dados obtidos e apresentados na Tabela 22 e na Figura 36 podemos observar que a medida em que aumentamos o percentual de matéria orgânica, independente da temperatura de queima, a retração linear de queima aumenta.

4.2.2.3. Determinação da Porosidade Aparente dos Corpos de Prova

A porosidade aparente representa a quantidade de vazios, ou poros, presentes no material, ela depende do tipo de material utilizado, pois é uma propriedade que varia de acordo com a disposição granulométrica. No estudo em questão, como estamos trabalhando a parte de ensaios tecnológicos com apenas um tipo de argila e variando a quantidade de pó de madeira adicionada, essa propriedade irá depender da quantidade

de pó de madeira presente na composição. Quanto maior o percentual de matéria orgânica adicionada, maior será a porosidade aparente do material.

A porosidade aparente, para uma mesma composição de material, também tende a diminuir com o aumento da temperatura, pois a temperaturas elevadas, os corpos de prova se aproximam de sua fase vítrea.

Na Tabela 23 e na Figura 37, são apresentados os resultados da porosidade aparente das amostras de MCR variando a temperatura com diferentes percentuais de matéria orgânica.

Tabela 23 – Porosidade Aparente, variando a temperatura

	950°C	1050°C	1200°C
Amostra com 0% de material adicionado	22,26	17,18	12,77
Amostra com 10% de material adicionado	25,30	22,50	17,17
Amostra com 20% de material adicionado	33,38	29,39	23,60

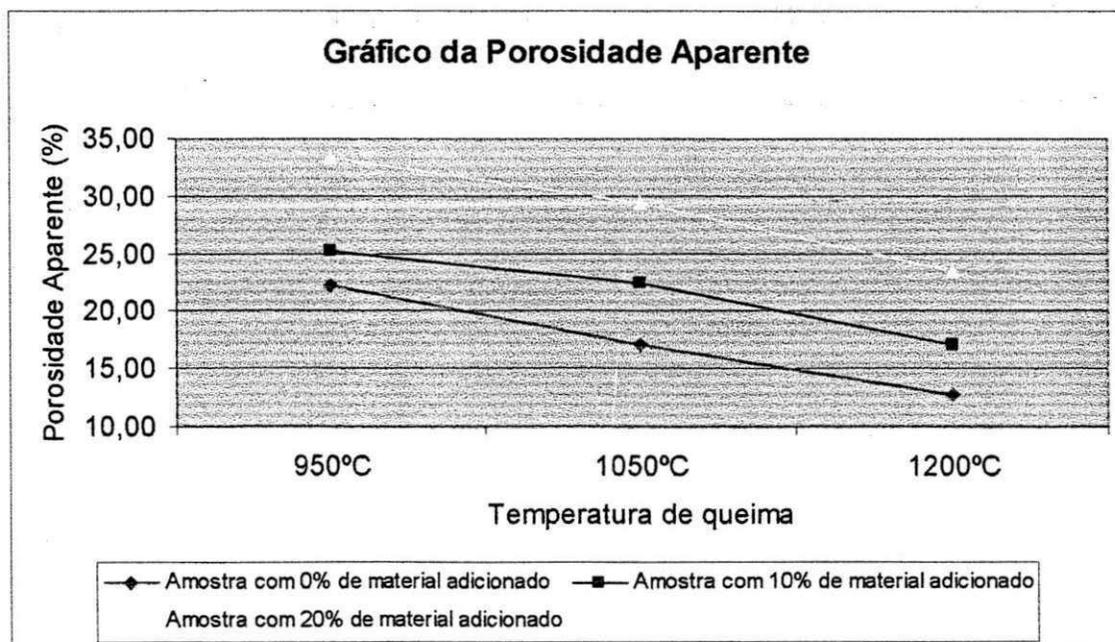


Figura 37 – Porosidade Aparente, variando a temperatura

Com base nos dados obtidos e apresentados na Tabela 23 e na Figura 37 podemos observar que a medida que a temperatura de queima aumenta, independente do percentual de material orgânico da amostra, a porosidade aparente diminui.

Na Tabela 24 e na Figura 38, são apresentados os resultados da porosidade aparente das amostras de MCR variando os percentuais de matéria orgânica com diferentes temperaturas.

Tabela 24 – Porosidade Aparente, variando os percentuais de matéria orgânica.

	0%	10%	20%
Queima a 950°C	22,26	25,30	33,38
Queima a 1050°C	17,18	22,50	29,39
Queima a 1200°C	12,77	17,17	23,60

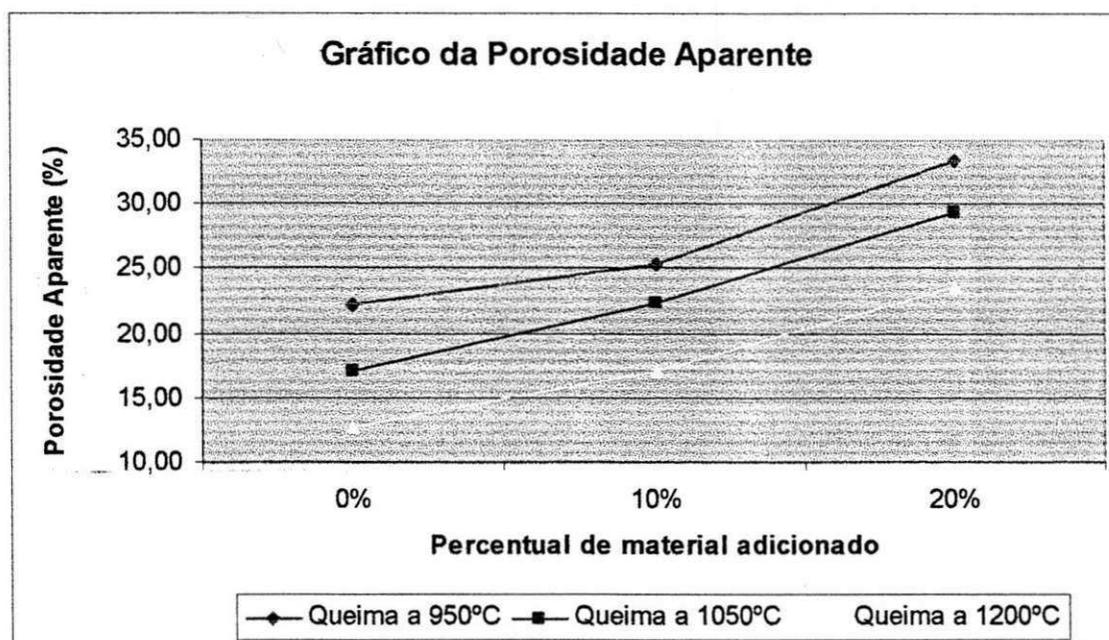


Figura 38 – Porosidade Aparente, variando os percentuais de matéria orgânica.

Com base nos dados obtidos e apresentados na Tabela 24 e na Figura 38 podemos observar que a medida que aumentamos o percentual de matéria orgânica, independente da temperatura de queima, a porosidade aparente aumenta.

4.2.2.4. Determinação da Absorção de Água dos Corpos de Prova

A absorção de água está relacionada com a porosidade do material, quanto mais poros o corpo de prova tiver, mais água ele irá absorver e maior será sua absorção.

Na Tabela 25 e na Figura 39, são apresentados os resultados da absorção da água das amostras de MCR variando a temperatura com diferentes percentuais de matéria orgânica.

Tabela 25 – Absorção de Água, variando a temperatura.

	950°C	1050°C	1200°C
Amostra com 0% de material adicionado	10,76	8,20	6,03
Amostra com 10% de material adicionado	12,42	11,16	8,65
Amostra com 20% de material adicionado	18,30	15,07	12,53

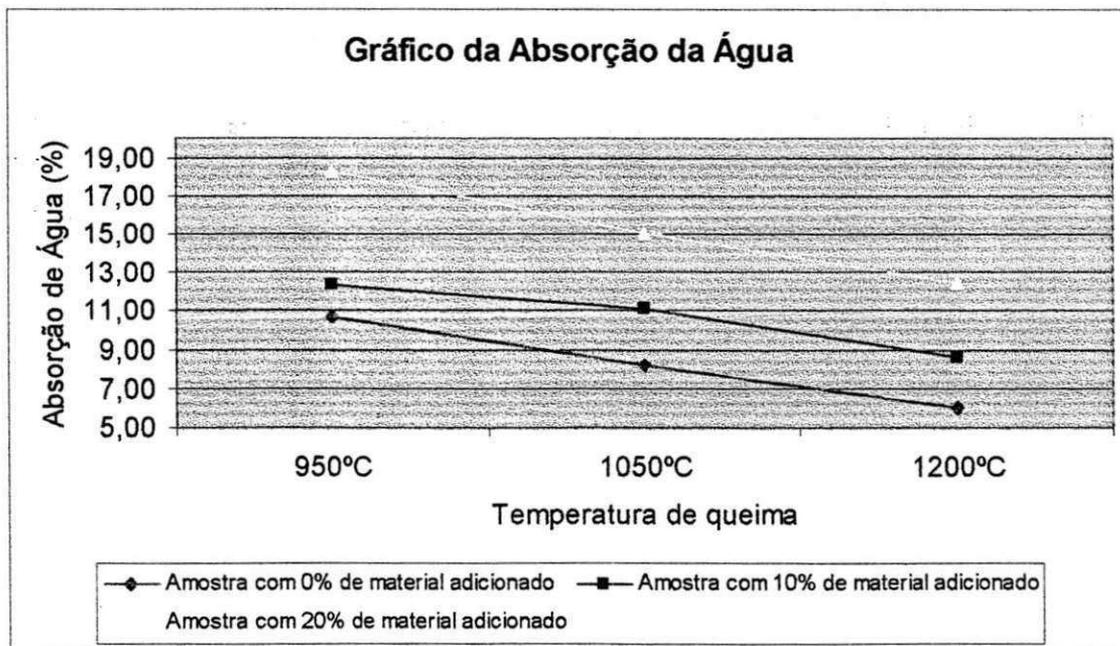


Figura 39 – Absorção de Água, variando a temperatura.

Com base nos dados obtidos e apresentados na Tabela 25 e na Figura 39 podemos observar que a medida que a temperatura de queima aumenta, independente do percentual de material orgânico da amostra, a absorção da água diminui.

Na Tabela 26 e na Figura 40, são apresentados os resultados da absorção da água das amostras de MCR variando os percentuais de matéria orgânica com diferentes temperaturas.

Tabela 26 – Absorção de Água, variando o percentual de matéria orgânica.

	0%	10%	20%
Queima a 950°C	10,76	12,42	18,30
Queima a 1050°C	8,20	11,16	15,07
Queima a 1200°C	6,03	8,65	12,53

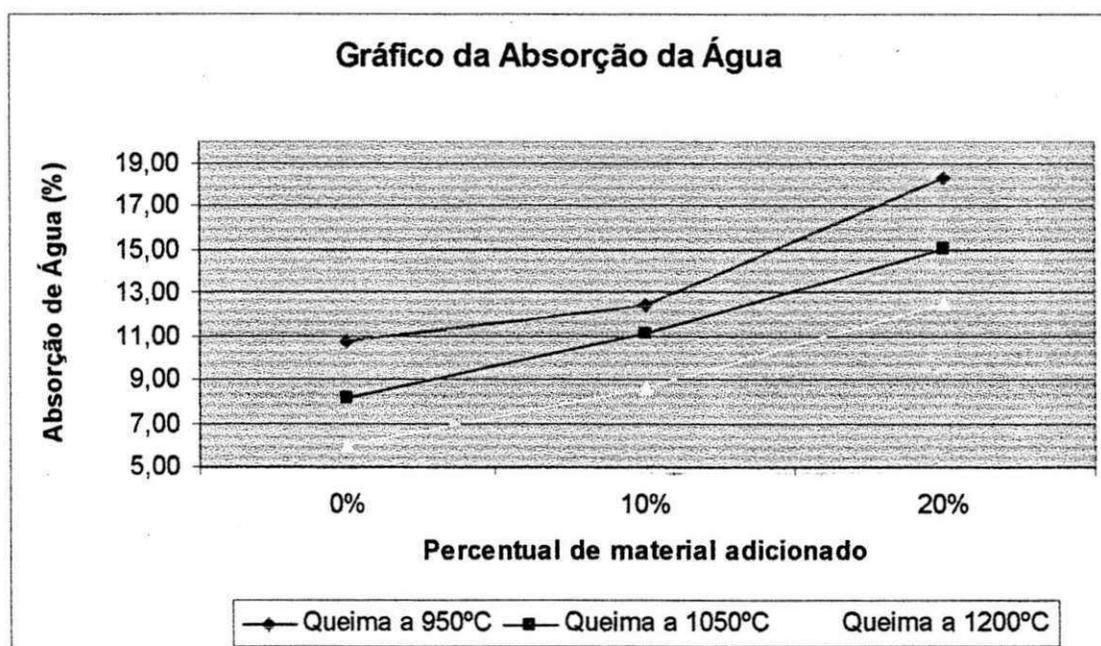


Figura 40 – Absorção de Água, variando o percentual de matéria orgânica.

Com base nos dados obtidos e apresentados na Tabela 26 e na Figura 40 podemos observar que a medida que aumentamos o percentual de matéria orgânica, independente da temperatura de queima, a absorção da água aumenta.

4.2.2.5. Determinação da Densidade Aparente dos Corpos de Prova

A densidade aparente tende a diminuir com o aumento de vazios, ou seja, com o aumento da porosidade.

Na Tabela 27 e na Figura 41, são apresentados os resultados da densidade aparente das amostras de MCR variando a temperatura com diferentes percentuais de matéria orgânica.

Tabela 27 – Densidade Aparente, variando a temperatura.

	950°C	1050°C	1200°C
Amostra com 0% de material adicionado	2,01	2,09	2,12
Amostra com 10% de material adicionado	1,96	2,02	2,04
Amostra com 20% de material adicionado	1,82	1,88	1,88

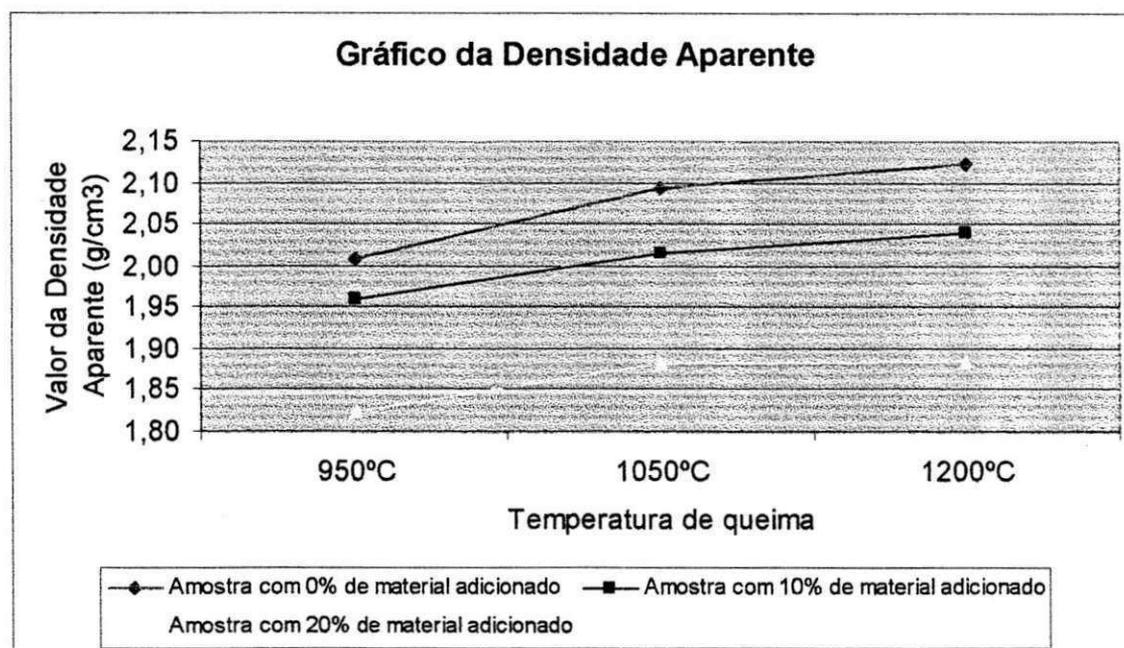


Figura 41 – Densidade Aparente, variando a temperatura.

Com base nos dados obtidos e apresentados na Tabela 27 e na Figura 41 podemos observar que a medida que a temperatura de queima aumenta, independente do percentual de material orgânico da amostra, a densidade aparente também aumenta.

Na Tabela 28 e na Figura 42, são apresentados os resultados da absorção da água das amostras de MCR variando os percentuais de matéria orgânica com diferentes temperaturas.

Tabela 28 – Densidade Aparente, variando os percentuais de matéria orgânica

	0%	10%	20%
Queima a 950°C	2,07	1,96	1,82
Queima a 1050°C	2,09	2,02	1,88
Queima a 1200°C	2,12	2,04	1,88

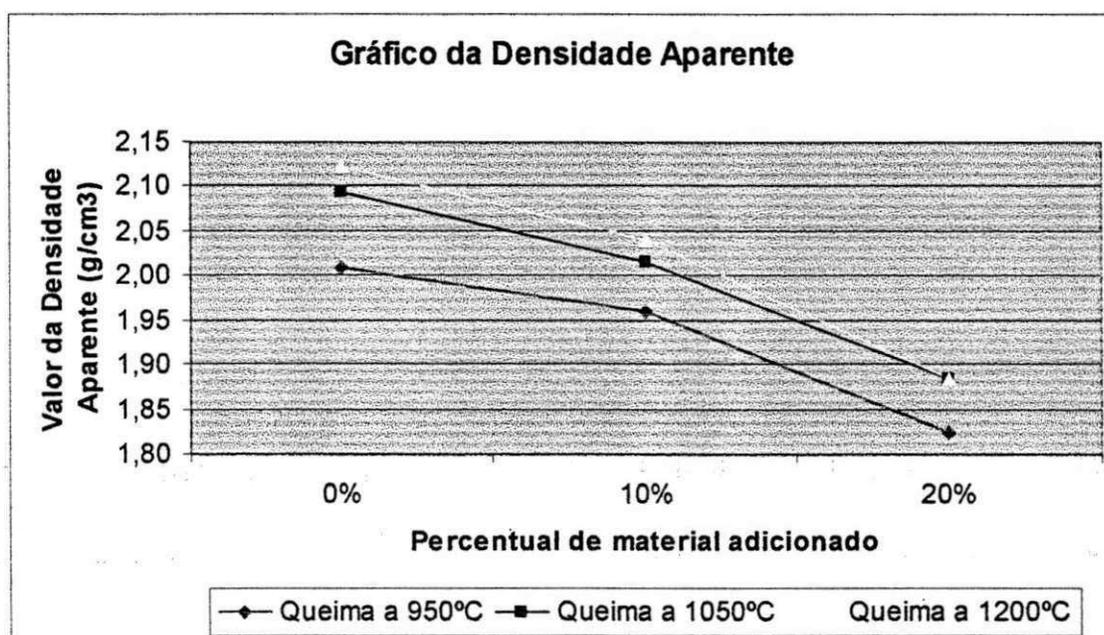


Figura 42 – Densidade Aparente, variando os percentuais de matéria orgânica

Com base nos dados obtidos e apresentados na Tabela 28 e na Figura 42 podemos observar que a medida em que o percentual de material orgânico aumenta, independente da temperatura da amostra, a densidade aparente diminui.

4.2.2.6. Determinação da Resistência à Flexão dos Corpos de Prova

A tensão de ruptura à flexão do material, refere-se a resistência do material à ruptura por flexão simples e indica a capacidade que o material possui de resistir a esforços de flexão. Ela é expressa na unidade MPa, e quanto maior a porosidade do material, menor será sua resistência a flexão, uma vez que uma maior quantidade de vazios enfraquece as ligações que regem a consistência e a rigidez do material.

Na Tabela 29 e na Figura 43, são apresentados os resultados da resistência a flexão das amostras de MCR variando a temperatura com diferentes percentuais de matéria orgânica.

Tabela 29 – Resistência a Flexão, variando a temperatura.

	950°C	1050°C	1200°C
Amostra com 0% de material adicionado	12,45	17,40	24,76
Amostra com 10% de material adicionado	10,01	13,20	20,50
Amostra com 20% de material adicionado	5,10	9,12	18,45

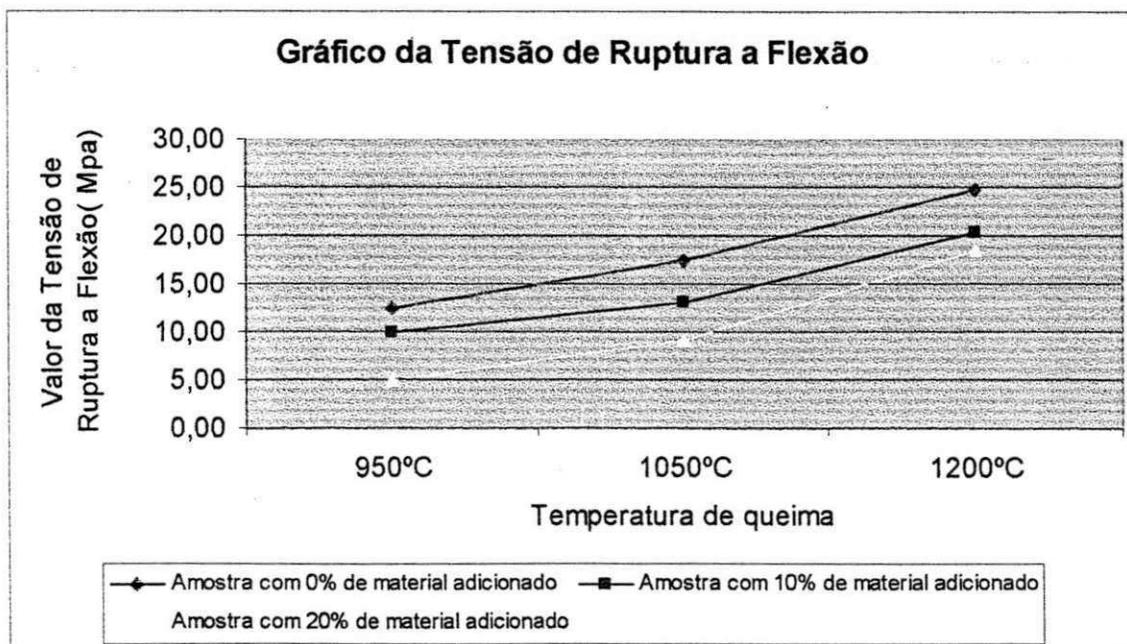


Figura 43 – Resistência a Flexão, variando a temperatura.

Com base nos dados obtidos e apresentados na Tabela 29 e na Figura 43 podemos observar que a medida que a temperatura de queima aumenta, independente do percentual de material orgânico da amostra, a resistência a flexão também aumenta.

Na Tabela 30 e na Figura 44, são apresentados os resultados da resistência à flexão das amostras de MCR variando os percentuais de matéria orgânica com diferentes temperaturas.

Tabela 30 – Resistência a Flexão, variando os percentuais de matéria orgânica

	0%	10%	20%
Queima a 950°C	12,45	10,01	5,10
Queima a 1050°C	17,40	13,20	9,12
Queima a 1200°C	24,76	20,50	18,45

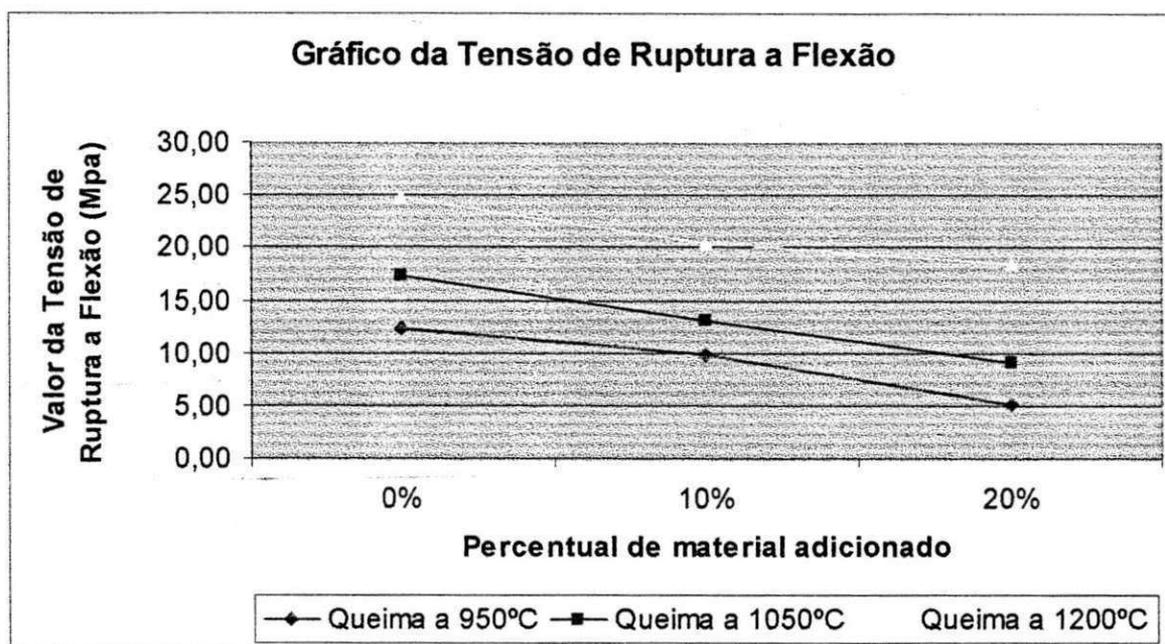


Figura 44 – Resistência a Flexão, variando os percentuais de matéria orgânica

Com base nos dados obtidos e apresentados na Tabela 30 e na Figura 44 podemos observar que a medida que o percentual de material orgânico aumenta, independente da temperatura da amostra, a densidade aparente diminui.

4.2.3. Comparação dos Resultados com os Resultados de Dutra (2002)

Quando comparamos os nossos resultados com os resultados obtidos por Dutra (2002) em seu trabalho de pesquisa para mestrado (onde também tratou da fabricação de peças cerâmicas porosas com a incorporação de pó de madeira) verificamos que há concordância nas análises e conclusões.

Embora os processos de conformação da nossa peça cerâmica – MCR – tenham sido elaborados de forma diferente do feito por Dutra observamos que as propriedades físicas dos materiais tratados mantêm-se com o mesmo comportamento em relação à variação da adição de percentuais de matéria orgânica e da variação da temperatura de queima.

A nossa peça cerâmica foi confeccionada a partir da extrusão de material MA1 com a adição de pó de madeira criando-se uma forma retangular com dimensão de 1,80cm de altura, 2,80cm de largura e 15cm de comprimento e posta à queima em forno com taxa de aquecimento de 10°C por minuto.

Mostra-se na Tabela 31 os principais fatores que diferem o processo de fabricação das peças cerâmicas porosas envolvendo essa pesquisa e a de Dutra (2002).

Tabela 31 – Fatores da fabricação das peças cerâmicas porosas

	Dias (2004)	Dutra (2002)
Conformação	Extrusão	Prensagem
Forma	(1,80x2,80x15,00)cm	(6,00x2,00x0,50)cm
Taxa de aquecimento	10°C / min	5°C / min

Conhecido os fatores que influenciam o processo de fabricação das peças cerâmicas, apresentamos respectivamente nas Tabelas 32, 33 e 34 os resultados das propriedades de secagem e das propriedades de queima das peças cerâmicas porosas, esta última nas temperaturas de 1050°C / 1100°C e 1200°C.

Tabela 32 – Comparativo entre as propriedades de secagem

	percentual de pó de madeira	Dias (2004)	Dutra (2002)
Teor de umidade (%)	0%	24,29	3,02
	10%	24,41	3,38
	20%	26,48	4,90
Retração Linear Secagem (%)	0%	5,37	0,26
	10%	5,39	0,31
	20%	5,75	0,41

Tabela 33 – Comparativo entre as propriedades de queima (1050°C / 1100°C)

	percentual de pó de madeira	Dias (2004) 1050°C	Dutra (2002) 1100°C
Perda de Massa ao Fogo (%)	0%	6,38	11,01
	10%	11,20	20,43
	20%	17,46	29,66
Retração Linear Queima (%)	0%	6,40	3,95
	10%	6,58	6,28
	20%	6,55	6,30
Porosidade Aparente (%)	0%	17,18	25,36
	10%	22,50	35,52
	20%	29,39	44,14
Absorção de Água (%)	0%	8,20	11,29
	10%	11,16	17,30
	20%	15,07	23,37
Densidade Aparente (g/cm ³)	0%	2,09	1,99
	10%	2,02	1,70
	20%	1,88	1,45
Resistência à Flexão (MPa)	0%	17,40	25,50
	10%	13,20	22,10
	20%	9,12	13,30

Tabela 34 – Comparativo entre as propriedades de queima (1200°C)

	percentual de pó de madeira	Dias (2004) 1200°C	Dutra (2002) 1200°C
Perda de Massa ao Fogo (%)	0%	6,44	10,75
	10%	12,03	20,00
	20%	18,97	29,30
Retração Linear Queima (%)	0%	6,95	8,21
	10%	7,10	8,12
	20%	7,21	8,10
Porosidade Aparente (%)	0%	12,77	17,60
	10%	17,17	30,89
	20%	23,60	39,28
Absorção de Água (%)	0%	6,03	7,48
	10%	8,65	14,75
	20%	12,53	20,42
Densidade Aparente (g/cm ³)	0%	2,12	2,18
	10%	2,04	1,79
	20%	1,88	1,53
Resistência à Flexão (MPa)	0%	24,76	43,38
	10%	20,50	31,60
	20%	18,45	27,30

Observando os valores das propriedades de secagem e queima percebe-se que os resultados do teor de umidade, da retração linear de secagem, da perda de massa ao fogo, da retração linear de queima, da porosidade aparente, da absorção de água, da densidade aparente e da resistência à flexão mostram variação de tendências semelhantes nas duas pesquisas.

No entanto, alguns valores obtidos estão relativamente variados em relação aos resultados de Dutra o que pode ser explicado principalmente devido a conformação das peças cerâmicas.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos pode-se concluir que:

- Das cinco amostras estudadas a que apresentou composição mineralógica mais adequada para esse trabalho foi a proveniente do município de Mamanguape, que identificamos pela abreviação MA1.
- Desenvolveu-se peças cerâmicas com a adição de matéria orgânica (MCR), que foram elaboradas com a adição de pó de madeira em percentuais de 0%, 10% e 20% e apresentaram o seguinte comportamento em relação as propriedades físico-mecânicas:
 - Os valores do teor de umidade, retração linear de secagem, perda de massa ao fogo, retração linear de queima , porosidade aparente e absorção de água aumentaram com o aumento dos percentuais de pó de madeira nas peças MCR.
 - O valores da densidade aparente e da tensão de ruptura à flexão diminuíram com o aumento dos percentuais de pó de madeira nas peças MCR.
 - Os valores da perda de massa ao fogo, da retração linear de queima, da densidade aparente e da tensão de ruptura à flexão aumentaram com o aumento da temperatura de queima.
 - Os valores da porosidade aparente e da absorção de água diminuíram com o aumento da temperatura de queima.

- Confirmamos a conclusão de Dutra (2002) quanto a afirmação que a incorporação de produtos orgânicos – no caso pó de madeira – ao corpo cerâmico para obtenção de cerâmicas porosas é um dos vários métodos que possibilitam uma alteração na estrutura do material. Entretanto, não é possível um controle quanto à formação dos poros no corpo cerâmico, ou seja, neste método podem aparecer tantos poros fechados como poros abertos, dependendo da maneira como o material orgânico ficou localizado na matriz. Com isso, impossibilita uma indicação imediata para uso do material poroso, ou seja, são necessários ensaios específicos como, por exemplo, a condutividade térmica, no caso de uso do material como isolador térmico.
- Também confirmamos a conclusão de Dutra (2002) no seguinte ponto: quanto a análise das propriedades físicas e mecânicas em relação a temperatura, foi constatado que na medida em que esta aumenta, a porosidade aparente e a absorção de água diminuem, enquanto a massa específica aparente e a resistência à flexão aumentam. Dessa maneira, a temperatura é uma das variáveis no processo de obtenção das cerâmicas porosas, cabendo para futuros trabalhos análise de outras variáveis como, por exemplo, o patamar final de sinterização.

CAPÍTULO 6 – SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Diante dos satisfatórios resultados obtidos neste trabalho e após a sua conclusão, surgiram assuntos, temas e tópicos que podem ser estudados em futuros trabalhos, dentre os quais podemos sugerir os seguintes:

1. Verificar o comportamento físico e mecânico de cerâmicas porosas desenvolvidas pelo método da incorporação de produtos orgânicos utilizando outras argilas e outros materiais orgânicos;
2. Estudar as propriedades termodinâmicas em materiais porosos, a partir da incorporação de produtos orgânicos, partindo do princípio de que esses materiais porosos por conterem ar no seu interior possuem menor capacidade de transferência de calor;
3. Construir protótipos de blocos de material refratário a partir de materiais porosos com a adição de matérias orgânicos com objetivos industriais e comerciais, como por exemplo, construção de fornos de altas temperaturas e produtos de isolamento térmico;
4. Desenvolver técnicas de processamentos para obtenção de cerâmicas porosas com altos valores de resistência mecânica, resistência ao ataque químico, elevada refratariedade e com uniformidade estrutural, de modo a se constituírem em blocos de cerâmica de uso industrial específico.

CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GRIM, R. E., (1962). Applied Clay Mineralogy, Editora McGraw – Hill Book Company, New York
2. SANTOS, P.S., (1975). Tecnologia de Argilas, Editora Edgard Blucher LTDA, São Paulo, Volume I e II.
3. PILEGGI, P., (1958). Cerâmica no Brasil e no mundo, Editora Martins, São Paulo.
4. NORTON, F.H., (1973). Introdução à tecnologia cerâmica, tradução de Jefferson Vieira, Editora Edgard Blucher, São Paulo.
5. VERÇOZA, E.J., (1975). Materiais de Construção, Volume 1, 2ª Edição, Editora Sagra, Porto Alegre.
6. ABREU, S.F., (1960). Recursos Minerais do Brasil, Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio, Rio de Janeiro.

7. FERREIRA, H.C., (1972). Ensaio de laboratório e especificações para argilas brasileiras visando usos industriais, Dissertação de Mestrado, DEQ-EPUSP.
8. BARZAGHI, L. E SALGE, A; (1982). Argilas para materiais de construção, Cerâmica 28(151).
9. GOMES, C.F. (1986). Argilas – O que são e para que servem, Editora Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal.
10. TÉCNICAS E MÉTODOS 12, (1981). Métodos de análise química adotados para a certificação de amostras padrão de calcário, IPT, São Paulo
11. MORO, S.L.; SANTINI, P. (1996). A análise química e outros ensaios químicos utilizados para o estudo de argilas, Cerâmica 12 (47/48), p. 203.
12. SANTINI, P.; MORO, S.L. (1967). Métodos de análise químicas adotados no IPT, Publicação 771 do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo.
13. PEREIRA, C. G., Tecnologia de Produtos Refratários, Ed. Técnica Piping Ltda, São Paulo, 1985.
14. TEMPORAL, AMAURY, O Isolamento Térmico na Indústria Cerâmica, revista cerâmica, nº 43.
15. GRATERAL, R., VIVAS, N. E PATINES, F, Desenvolvimento de Tijolos Isolantes com Matéria Prima Venezuelana, Anais do 38º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 18 a 21 de julho de 1994, Blumenau – SC.

16. MORÁS, F., CARVALHO, J. e RESENDE, W. S., Considerações sobre Refratários Isolantes Silico-Aluminosos para aplicação até 1100°C, Anais do 35º Congresso Brasileiro de Cerâmica e III Ibero-Americano de Cerâmica, Vidro e Refratário, 1991.
17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997) , NBR-6220-Determinação da Massa Específica Aparente, Absorção de Água e Porosidade Aparente.
18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997) , NBR-13.818-Determinação da Tensão de Ruptura a Flexão, anexo C..
19. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS , MB-318-Determinação de módulo de ruptura de argilas, argamassas, concretos e cimentos refratários.
20. AVALIAÇÃO DA PLASTICIDADE (1992), Laboratório de Reologia, Escola Senai Mário Amato.
21. CAPUTO, H.P. (1988). Mecânica dos Solos e suas aplicações, Livros técnicos e Científicos Editora, Voume I, II e III.
22. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: Determinação da análise granulométrica de solos: método de ensaio – NBR 7181. Rio de Janeiro, 1984.
23. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: Determinação do limite de plasticidade: método de ensaio – NBR 7180. Rio de Janeiro, 1984.

24. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: Determinação do limite de liquidez: método de ensaio – NBR 6459. Rio de Janeiro, 1984.
25. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: Determinação da densidade de massa real: método de ensaio – NBR 6221. Rio de Janeiro, 1995.
26. ALBERS, A. P. F., et al. Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. *Cerâmica*, São Paulo. v. 48, n. 305, p. 34-37, Jan./Fev./Mar. 2002.
27. ALBUQUERQUE, F. R. de; SANTOS, I. M. G., SOUZA, A. G. de. Obtenção de filtros cerâmicos pelo método de espuma polimérica utilizando matérias primas naturais. In: 45º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2001, Florianópolis. Anais. Florianópolis: Associação Brasileira de Cerâmica, 2001. 1 CD ROM.
28. ALEXANDRE, J. et al. Análise das alterações das propriedades mecânicas de produtos cerâmicos em função do tempo de queima. In: 45º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2001, Florianópolis. Anais. Florianópolis: Associação Brasileira de Cerâmica, 2001. 1 CD ROM.
29. ANDRADE, Marcos A. R. Estudo Teórico-Experimental de Parâmetros Físicos de Meios Porosos Rígidos Efetivos. João Pessoa, 1999.
30. ARRUDA, Ana Maria S. P. Estudo das Propriedades Físicas da Argila de Corumbá-MS. Campo Grande, 2001.
31. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Anuário Brasileiro de Cerâmica. São Paulo, 2002.
32. BERNARDES, Eduardo S. Fatores Condicionantes do Comportamento Cerâmico das Argilas Plásticas de uma Jazida do Subgrupo Itararé em Jundiá-SP. Rio Claro – MG, 2001.

33. BORBA, Cristina Doneda G. de., et al. Estudo das matérias primas fundentes. *Cerâmica Industrial*, São Paulo. v. 1, n. 1, p. 34 – 39, mar./abr. 1996.
34. CAMPOS, E. de; HEIN, L: R. O. Obtenção e análise de cerâmicas porosas com amidos comerciais, In: 45° CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2001, Florianópolis. Anais. Florianópolis. Associação Brasileira de Cerâmica, 2001.1 CD ROM.
35. DUTRA, Ricardo P.S.; PONTES, Luiz R. A. Estudo das propriedades físico-mecânicas de produtos cerâmicos em função da porosidade. João Pessoa, 2002 (mimeo).
36. FERREIRA, Gerson; MARIANO, Walter Aparecido; MORELLI, Márcio Raimundo. Refratários isolantes de alta resistência mecânica. *Cerâmica*. São Paulo, v. 40, n. 266, p. 61-63, Jul./Ago./Set. 1994.
37. LYCKFELDT, O.; FERREIRA, J.M.F. Processing of porous ceramic by 'Starch Consolidation'. *Journal of the European Ceramic Society*. Britain: Elsevier, v. 18, p. 131-140, 1998.
38. VLACK, Lawrence H. Van. *Produtos Cerâmicos: tratamentos térmicos. Propriedades do materiais cerâmicos*. São Paulo: Edgard Blücher, 1973, cap. 14, p. 242-263.
39. DUTRA, Ricardo P. Suassuna. *Caracterização de Argilas e Fabricação de Cerâmicas Porosas pelo Método da Incorporação de Produtos Orgânicos*. Tese de Mestrado. João Pessoa PB, julho de 2002.
40. DIAS, Bruno Cavalcanti. *Caracterização e Aplicação Industrial de Argilas da Região Meio Leste da Paraíba*. Tese de Mestrado. Campina Grande PB, 2002.