

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
Centro de Ciências
Departamento de Geologia
Curso de Pós-Graduação em Geologia
Área de Concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais

CÂNDIDO HENRIQUE DE AGUIAR BEZERRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E
MINERALÓGICAS DOS DEPÓSITOS DE ARGILA DOS MUNICÍPIOS DE
CRATO E JUCÁS-CE.**

FORTALEZA-CE

2012

CÂNDIDO HENRIQUE DE AGUIAR BEZERRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E
MINERALÓGICAS DOS DEPÓSITOS DE ARGILA DOS MUNICÍPIOS DE
CRATO E JUCÁS-CE.**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Geologia com área de concentração em Geodinâmica e Recursos Minerais.

Orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto

Co-Orientadora: Profa. Dra. Irani Clezar Mattos

FORTALEZA-CE

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- B469a Bezerra, Cândido Henrique de Aguiar.
Análise comparativa das propriedades físicas e mineralógicas dos depósitos de argila dos municípios de Crato e Jucás-CE / Cândido Henrique de Aguiar Bezerra. – 2012.
95 f. : il. color, enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2012.
Área de concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais.
Orientação: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto.
Coorientação: Profa. Dra. Irani Clezar Mattos.
1. Argila - Análise. 2. Mineralogia. I. Título.

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E
MINERALÓGICAS DOS DEPÓSITOS DE ARGILA DOS MUNICÍPIOS DE
CRATO E JUCÁS-CE.**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Geologia com área de concentração em Geodinâmica e Recursos Minerais.

Aprovada em 06/09/2012

BANCA EXAMINADORA

PROF. DR. JOSÉ DE ARAÚJO NOGUEIRA NETO
Universidade Federal do Ceará – UFC

PROF. DR. RICARDO EMILIO FERREIRA QUEVEDO NOGUEIRA
Universidade Federal do Ceará – UFC

PROFA. DRA. MARILIA DE ALBUQUERQUE OLIVEIRA

**Queria ter a força do vaqueiro, a
coragem do jangadeiro, a sensibilidade
da rendeira, a criatividade do repentista
e a fé do romeiro**

“Cândido Bezerra”

**Ao José Henrique Brasil Bezerra, meu
filho**

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer ao Criador, nosso Deus, Clemente e Misericordioso que com Seu sopro divino nos deu o maior de todos os dons, a vida.

Obrigado José Henrique, meu amado filho, por encher meus dias de alegria com seu inigualável sorriso que toca nosso coração.

Obrigado Camila, minha esposa amada, companheira de caminhada e amiga de todas as horas, por me fazer tentar ser uma pessoa melhor a cada novo dia desta vida.

Obrigado aos meus pais, Cândido e Andira, por serem meus pais, e por serem os primeiros a me conduzirem pelos caminhos do conhecimento e da fé.

Obrigado meus irmãos, Thereza Cândida e Bezerra Neto, bem como meus sobrinhos Arthur, Maria Cândida e Davi, simplesmente por serem um pouco de mim e eu ser um pouco de vocês.

Obrigado a minha sogra, Idilva, meu sogro José Brasil (IN MEMORIAM), e cunhados Ana Paula e seu esposo Barbosa, Andrea e seu esposo Daniel, Natanael e Rosemary, bem como minhas sobrinhas pelo lado da minha esposa Mariana e Marina que são pessoas que completam aquilo que mais prezo nesta vida: a família.

Obrigado aos mestres, Dr. José Nogueira de Araújo Neto, por ter acreditado em mim, pela orientação e dedicação que me prestou, a Dra. Irani Clezar Mattos, por ter me incentivado a entrar no mestrado, me orientado e pela paciência que teve comigo.

Obrigado ao amigo Joel Pedrosa pela incalculável ajuda nas análises de FRX e DRX, ao Junior da secretária do mestrado pela maneira sempre cortês e solícita que me atendeu durante esses anos e ao grande amigo Frederico Holanda que sempre insistiu e me apoiou para que fizesse este mestrado.

Quero agradecer aos amigos Ailton, Marco Antônio e Djenani do Laboratório de Cerâmica Vermelha do SENAI, pela paciência, compreensão e incentivo que me deram neste período.

Agradeço aos empresários Elmar Braga e Helder Filho por terem aberto as portas de suas indústrias para este trabalho.

Enfim, obrigados a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste sonho.

“Nunca ande pelo caminho traçado, pois ele conduz somente até onde os outros já foram” – *Alexander Graham Bell*

RESUMO

O trabalho consiste em fazer uma análise comparativa das propriedades físicas e químicas entre argilas de duas áreas com características ambientais distintas. Para determinação das propriedades físicas dos corpos de prova foram realizados ensaios granulométricos com a utilização de 5 (cinco) peneiras granulométricas com peso previamente conhecido nas malhas 140, 200, 325, 400, 500 e fundo, obtendo-se 6 (seis) classes granulométricas, foram identificados os limites de plasticidade, de liquidez e os índices de plasticidade, bem como foram definidas os patamares de temperatura de queima ideal para as duas áreas do estudo com base nos resultados obtidos nos ensaios de perda de massa ao fogo, retração linear e absorção de água. Para completar os ensaios físicos foram definidos a resistência à compressão dos materiais das áreas deste estudo. A análise química das amostras foi realizada a partir dos resultados das análises de difração de raio X (DRX) e fluorescência de raio X (FRX) que apontaram a presença de illita e montmorilonita na amostra B2 e caolinita na amostra B1 localizadas no município do Crato. Nas amostras A1 e A2 localizadas no município de Jucás foram identificadas caolinita e illita nas duas amostras. Analisando os resultados físicos e químicos pode-se afirmar que para a produção de telhas cerâmicas o material que melhor se adequa as exigências de mercado é o oriundo da área 2 (Crato), bem como o material da área 1 no município de Jucás é mais adequado para a produção de tijolos de vedação sem função estrutural.

PALAVRAS CHAVES: Argila, Cerâmica Vermelha, Argilominerais, Análise comparativa de sedimentos, Mineralogia, Matéria-prima cerâmica, Produção de Peças Cerâmicas.

ABSTRACT

This work report a comparative physical and chemical analysis of clays properties between two areas with different environmental characteristics. For determination of the Physical properties of the specimens granulometric assays were performed with the use of five (5) weight granulometric sieves previously known in the meshes 140, 200, 325, 400, 500 and ground, yielding six (6) granulometric classes were identified limits of plasticity, liquidity and plasticity indexes, as well as the levels were set temperature firing ideal for both areas of study based on the test results obtained from mass loss to fire, and linear shrinkage water absorption. To complete the physical tests were defined compression resistance of the materials of the areas in this study. Chemical analysis of samples was performed based on the results of the analysis of X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF) that indicated the presence of illite, montmorillonite and kaolinite in sample B2 and B1 in the sample located in the municipality of Crato . In samples A1 and A2 located in the municipality of Jucás kaolinite and illite were identified in both samples. Analyzing the results of physical and chemical properties can be stated that for the production of ceramic tiles the material that best suits the requirements of the market is coming from the area 2 (Crato), as well as material from one area of the municipality is more Jucás suitable for production of bricks sealing without structural function.

KEYWORDS: Clay, Red Ceramic, clay, Comparative analysis of sediments, Mineralogy, ceramic raw material, production of ceramics parts.

LISTA DE AREVIATURAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANICER** – Associação Nacional da Indústria Cerâmica
- Asterussas** – Associação das Cerâmicas do Vale do Jaguaribe
- SENAI** – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
- IEL** – Instituto Evaldo Lodi
- IPT** - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
- LCV** – Laboratório de Cerâmica Vermelha do SENAI
- Sebrae** - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
- Sindicerâmica** – Sindicato das Empresas de Cerâmica Vermelha
- UFC** – Universidade Federal do Ceará
- DRX** – Difração de Raio X
- FRX** – Fluorescência de Raio X
- A1** – Amostra de material argiloso da Área 1
- A2** – Amostra de material areno-siltoso da Área 1
- B1** – Amostra de material argiloso da Área 2
- B2** – Amostra de material arenoso da Área 2
- CPA** – Corpo de Prova da área 1
- CPB** – Corpo de prova da área 2
- LP** – Limite de Plasticidade
- LL** – Limite de Liquidez
- IP** – Índice de Plasticidade
- PF** – Perda ao Fogo
- AA** – Índice de Absorção de Água

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo cerâmico (operações básicas).....	20
Figura 2: Localização da Área 1.....	25
Figura 3: Localização da Área 2.....	26
Figura 4: Mapa de localização das principais bacias mesozóicas interiores do Nordeste com as áreas de trabalho.....	27
Figura 5: Mapa geológico da bacia sedimentar de Iguatu.....	29
Figura 6: Mapa geológico da área 1 destacando a geologia do embasamento.....	30
Figura 7: Mapa geológico simplificado da bacia do Araripe.....	31
Figura 8: Local de extração da argila da área 1 (Jucás).....	33
Figura 9: Estratificação da área 2 (Crato) – Detalhamento.....	34
Figura 10: Estratificação da Área 2 (Crato).....	34
Figura 11: Peneiras e Peneirador eletromagnético utilizado no método seco.....	37
Figura 12: Estufa utilizada na secagem das peneiras granulométricas no método úmido.....	38
Figura 13: Índice de Plasticidade diante dos limites de Atterberg.....	39
Figura 14: Geometria parafocal Bragg-Brentano.....	42
Figura 15: Estufa usada nos testes de retração linear e absorção de água.....	44
Figura 16: Mini-extrusora utilizada para confecção de corpo de prova.....	44
Figura 17: Moinho de facas utilizado na preparação da massa a ser moldada na confecção dos corpos de prova.....	44
Figura 18: Forno utilizado para queima dos corpos de prova.....	44
Figura 19: Prensa hidráulica utilizada no ensaio de resistência a compressão.....	44
Figura 20: Equipamento utilizado para FRX.....	44
Figura 21: Triângulo Texturais.....	46
Figura 22: Amostra B2 aspecto visual sem lupa.....	48
Figura 23: Amostra B2 com zoom de 28x.....	48
Figura 24: Amostra B2 sobreposta em régua de 1mm com zoom de 28x.....	48
Figura 25: Amostra B1 aspecto visual sem lupa.....	48
Figura 26: Amostra B1 com aumento de 28x.....	48
Figura 27: Amostra B1 sobreposta em régua de 1mm com aumento de 32x.....	49
Figura 28: Amostra A1 - Zoom 28x.....	49
Figura 29: Amostra A1 sobreposta em régua de 1mm - Zoom 28x.....	49

Figura 30: Amostra A2 aspecto visual sem lupa.....	50
Figura 31: Amostra A2 com aumento de 28x.....	50
Figura 32: Amostra A2 sobreposta em regua de 1mm com zoom de 28x.....	50
Figura 33: Limites de liquidez e plasticidade e o Índice de plasticidade obtido.....	51
Figura 34: Difratoograma da amostra A1.....	63
Figura 35: Difratoograma da amostra A2.....	64
Figura 36: Difratoograma da amostra B1.....	65
Figura 37: Difratoograma da amostra B2.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Classes granulométricas.....	36
Tabela 02: Resumo da classificação granulométrica das amostras.....	47
Tabela 03: Classificação granulométrica das amostras coletadas.....	47
Tabela 04: Índice de Plasticidade.....	51
Tabela 05: Valor Médio dos corpos de prova para perda de massa ao fogo.....	53
Tabela 06: Retração Linear das amostra a 900°C.....	55
Tabela 07: Índice de Absorção de Água (AA).....	56
Tabela 08: Dimensões médias dos Corpos de Prova.....	57
Tabela 09: Desvio de Planeza dos Corpos de Prova.....	57
Tabela 10: Espessura Média das Paredes e dos Septos.....	58
Tabela 11: Resistência à compressão.....	58
Tabela 12: Tabela resumo dos resultados de caracterização tecnológica.....	59
Tabela 13: Caracterização das amostras de DRX e FRX.....	61
Tabela 14: Percentual de óxidos obtidos na FRX.....	61
Tabela 15: Composição Mineralógica das amostras com base na DRX.....	66

GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS

- **Árgila plástica:** é um material composto basicamente de argilominerais (caulinita, illita, montmorillonita e esmectita) e outros minerais não argilosos como quartzo, feldspato, micas e matéria orgânica. São conhecidas também em algumas regiões como argila gorda ou forte;
- **Árgila refratária:** Argila que adquire este nome em função de sua qualidade de resistência ao calor. Suas características físicas variam, umas são muito plásticas finas, outras não. São conhecidas também em algumas regiões pelos nomes de argila magra, fraca ou poagem;
- **Árgila residual:** Argila que resulta de um processo de descalcificação de formações calcárias, encontrando-se frequentemente no interior de cavernas;
- **Bacia intracratônica:** localizam-se no interior de regiões tectonicamente estáveis - os cratões. São vastas depressões ovais ou arredondadas, onde se depositam sedimentos numa relação profundidade/diâmetro que varia entre 1/100 1/50. Esses sedimentos são normalmente provenientes da erosão dos relevos situados na sua periferia.
- **Componente tixotrópico:** Material colóide semissólido cuja viscosidade se assemelha a um gel;
- **Fendilhamento:** Processo de formação de trincas e fissuras nos materiais sólidos;
- **Graben:** Depressão de forma alongada, enquadrada por uma série de degraus produzidos por falhas paralelas.
- **Granulometria:** Medida do tamanho das partículas, grãos, de acordo com o seu diâmetro, sendo utilizada no estudo das frações minerais sedimentares;
- **Plasticidade:** é a propriedade de um corpo mudar de forma de modo irreversível, ao ser submetido a uma tensão;
- **Refratariedade:** É a capacidade que possuem alguns materiais de resistirem a temperatura sem se deformarem e sem perderem suas propriedades de baixa condutividade térmica e elétrica.

SUMÁRIO

RESUMO.....	07
ABSTRACT.....	08
LISTA DE ABREVIATURAS.....	09
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS.....	12
GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS.....	13
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	15
1.1 – Histórico e aplicação industrial da argila.....	16
1.2 – Objetivos.....	22
1.2.1 – Objetivos Específicos.....	22
CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DO ESTUDO.....	23
2.1 - Localização das Áreas.....	24
2.2 - Caracterização Geológica das Áreas.....	27
2.2.1- Bacia Sedimentar de Iguatu (Área1).....	28
2.2.2 – Formação Rio Batateira (Área 2).....	30
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1 – Materiais.....	33
3.2 – Métodos.....	35
CAPÍTULO 4 – RESULTADO E DISCUSSÃO.....	45
4.1 – Granulometria.....	46
4.2 – Limite de Plasticidade, Liquidez e Índice de Plasticidade.....	51
4.3 – Perda de Massa ao Forno.....	53
4.4 – Retração Linear.....	55
4.5 – Índice de Absorção de Água.....	56
4.6 – Resistência à Compressão	57
4.7 - Caracterização Química e Mineralógica das Amostras.....	61
4.7.1 – Fluorescência de Raio X.....	61
4.7.2 – Difração de Raio X – DRX.....	62
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO.....	66
CAPÍTULO 6 - BIBLIOGRAFIA.....	69
ANEXOS.....	72

CAPÍTULO 01- INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A aplicação das argilas nos processos industriais vem tornando-se uma vertente cada vez mais importante dentro das geociências, em especial na geologia e na engenharia dos materiais, devido as suas possibilidades de uso nos mais diversos seguimentos produtivos, seja como matéria-prima ou como insumo.

Desta forma a compreensão do que vem a ser argila bem como as características que a torna tão versátil é a base fundamental para seu uso racional e eficiente. Segundo Gomes (2002) argila é um produto natural terroso que apresenta geralmente comportamento plástico, granularidade muito fina e facilmente dispersáveis em água. Ela é constituída essencialmente de argilominerais, podendo conter outros minerais como quartzo, mica, pirita, hematita, matéria orgânica e outras impurezas.

Os argilominerais são os minerais característicos das argilas; quimicamente são silicatos de alumínio ou magnésio hidratados, contendo em certos tipos outros elementos como ferro, potássio, lítio e outros. Esses minerais possibilitam que as argilas na presença de água desenvolvam uma série de propriedades tais como: plasticidade, resistência mecânica a úmido, retração linear de secagem, compactação, tixotropia e viscosidade de suspensões aquosas que explicam sua grande variedade de aplicações tecnológicas, Gomes (2002).

Para uma maior compreensão destes comportamentos por parte das argilas é preciso conhecer o conceito destas propriedades. A plasticidade por exemplo é a maior ou menor capacidade dos solos de serem moldados, sob certas condições de umidade, sem variação do volume. As propriedades plásticas dependem do teor de umidade, forma das partículas, granulometria e composição química e mineralógica. Em relação a propriedade de viscosidade pode-se afirmar que é o termo que descreve as propriedades de escoamento de um fluido ou seja o atrito das camadas internas dentro do fluido que impõe a resistência a fluir. Já a tixotropia é o fenômeno da diminuição da viscosidade aparente com o tempo de cisalhamento, à uma taxa de cisalhamento constante.

Em relação aos tipos de argilominerais existentes, os principais grupos são: caulinita, illita e esmectitas ou montmorilonita.

O que diferencia estes argilominerais é basicamente o tipo de estrutura e as substituições que podem ocorrer, dentro da estrutura, do alumínio por magnésio ou ferro, e do silício por alumínio ou ferro, principalmente, e conseqüente neutralização das cargas residuais geradas pelas diferenças de cargas elétricas dos íons por alguns cátions. Dessa forma, segundo Gomes (2002), na caulinita praticamente não ocorre substituição, na illita ocorre substituição e o cátion neutralizante é o potássio; na montmorilonita também ocorrem substituições e os cátions neutralizantes podem ser sódio, cálcio, potássio e outros. Isto implica em diferenças nas características de interesse para as diversas aplicações tecnológicas.

Como exemplo, argilas constituídas essencialmente pelo argilomineral caulinita são as mais refratárias, pois são constituídas essencialmente de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3), enquanto que os outros, devido à presença de potássio, ferro e outros elementos, têm a refratariedade sensivelmente reduzida.

A presença de outros minerais, muitas vezes considerados como impurezas devido agir de maneira contrária ou dificultando o desempenho do processo de transformação esperado, pode afetar substancialmente as características de uma argila para uma dada aplicação; daí a razão, para muitas aplicações, de se eliminar por processos físicos os minerais indesejáveis. Processo este chamado de beneficiamento.

A presença desta impurezas podem gerar imperfeições nas peças cerâmicas nas etapas de conformação da peça e secagem em uma indústria de cerâmica vermelha. Como exemplo pode-se citar que a presença de matéria orgânica como raízes na saída da boquilha de um processo de extrusão leva a formação de falhas e fissuras nas paredes de uma peça cerâmica, bem como a presença de sedimentos de granulometria maior, como pedriscos e até mesmo areia grossa no caso de fabricação de telhas.

Em função principalmente das possibilidades de emprego tecnológico, que são influenciadas pela gênese e pela composição mineralógica do material, em muitos casos as argilas recebem designações como: caulins, bentonitas, flint-clays e ball clays.

O Caulino é uma argila que após queimada apresenta coloração branca ou quase branca e que é muito refratária. O caulino quando beneficiado é constituído essencialmente por caulinita (com média a boa ordem estrutural), podendo haver haloisita associada. (Gomes, 2002). O Caulino utiliza- e particularmente nas indústrias de cerâmica, de papel, de refratários, de borracha e de tintas.

O termo caulino deriva da expressão chinesa “Kao Ling” que significa “alta crista”, nome dum colina da China central perto da qual se explorava este mineral, vários séculos atrás para o fabrico de porcelana.

Além da caulinita, no caulino bruto podem participar também quartzo, feldspato, mica e muitos outros minerais menores ou acessórios, tais como gibsitita, montmorilonita, clorita, turmalina, fluorita, topázio, geothita, hematita, limonita e pirita. A mineralogia e a composição química do caulino estão estreitamente relacionadas com a granulometria.

A bentonita é uma argila residual proveniente da alteração de cinzas ou tufos vulcânicos ácidos, de granulometria muitíssimo fina, que geralmente aumenta de volume em meio aquoso-“swelling bentonita”-, com cor variada (branco, verde, azul, rosa ou creme) e baixa refrataridade (Gomes and Silva, 2001).

A bentonita é constituída essencialmente por montmorilonita ou por outras espécies minerais do grupo da montmorilonita e outros minerais acessórios. Além da bentonita que incha-“swelling bentonita”- existe bentonita que não incha –“non swelling bentonita”- ou metabentonita e esta, além de montmorilonita ou outras espécies do grupo, costuma apresentar interestratificados illita-montmorilonita.

A bentonita tem amplo uso industrial como componente tixotrópico dos fluidos ou lamas de perfuração, como ligante das areias em moldes para fundição, na descoloração de óleos, na peletização de minérios de ferro e manganês, etc. No caso da cerâmica branca é importante o conhecimento de que a adição de pequenas quantidades de bentonita a caulinos modifica substancialmente as propriedades cerâmicas das barbotinas, das pastas e dos corpos cerâmicos, melhorando a sua resistência mecânica e a sua plasticidade. Mas, se em excesso, a montmorilonita pode ocasionar dificuldades durante a secagem refletidas numa contração excessiva e fendilhamento do corpo cerâmico.

As flint-clays são argilas com características refratária, caulinitica, haloisítica, podendo conter hidróxidos de alumínio. São argilas de baixa plasticidade, sendo portanto, misturadas com argilas plásticas em composições de mistura.

As “Ball clay” (argila em bolas) são argilas muito plásticas, com granulometria muito fina (50-90% das partículas têm diâmetro esférico equivalente $<1 \mu\text{m}$), com apreciável poder ligante, com refrataridade bastante inferior à do caulino e que apresentam cor marfim ou creme-claro após queima. O termo “ball clay”, que não tem

significado mineralógico, teve origem na plasticidade extremamente elevada desta argila que permitia que, nas explorações a céu aberto e em degraus, a argila fosse cortada em cubos que eram rolados por gravidade até serem carregados em vagonetas. As “ball clay” são compostas basicamente por caulinita (de fraca ordem estrutural) associada a hidro-mica (0-30%) e quartzo (10-25%) finamente divididos, clorita, montmorilonita, interestratificados ilitamontmorilonita e ainda muitas vezes a matéria orgânica.

1.2 – Aplicação Industrial da Argila

O uso da argila na indústria pode ser feito nas mais diversos segmentos como na petroquímica podendo ser utilizadas na produção de gasolina e como descorante de óleo. Na indústria farmacêutica é usada para tratamento cicatrizante e desintoxicação celular, na indústria automobilística através de peças e segmentos constituintes dos itens necessários para fabricação de veículos automotores, entre outras.

Entretanto o uso mais antigo e tradicional que se tem registro é na confecção de artefatos e peças cerâmicas, palavra de origem grega *Keramos* que significa argila queimada. A aproximadamente 20.000 anos a.C. a argila já era utilizada com este fim, conforme registros arqueológicos como é o caso da Vênus de Willendorf encontrada na Áustria, OLIVEIRA, João Vicente Ganzarolli de (2006).

O uso da argila na confecção de blocos, pisos e telhas é realizado pelo seguimento industrial denominado de indústria de cerâmica vermelha, sendo este uso mais tradicional tendo em vista que a fabricação de blocos cerâmicos já era realizada desde tempos remotos de nossa civilização como podemos observar inclusive nos escritos bíblicos como Gênesis 11:3 que cita o uso de tijolos na construção da torre de Babel, “E disseram uns aos outros: Eia, façamos tijolos e queimemo-los bem. E foilhes o tijolo por pedra, e o betume por cal”.

Na construção civil a argila é utilizada para confecção de blocos, pisos, tubos e telhas cerâmicas bem como para fabricação de utensílios domésticos como cubas de pias ou lavabos, aparelhos sanitários e demais objetos aplicados à decoração do imóvel.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) (1980, p.8), a indústria cerâmica é uma indústria de processo químico, onde as matérias-primas (argilas) passam por uma seqüência de processamento, adquirindo em

cada etapa novas propriedades, ou alterando, com o uso de energia, suas características físicas e químicas até a obtenção do produto final.

O outro segmento industrial conhecido popularmente por cerâmica branca ou esmaltada é responsável pela fabricação de peças que empregam um maior desenvolvimento tecnológico na sua confecção como é o caso dos pisos de cerâmica esmaltada e louças sanitárias.

A figura 1, apresenta as operações básicas do processo da indústria cerâmica, onde observa-se a preparação das matérias-primas como a etapa inicial do processo produtivo. Nesta etapa é realizado a mistura dos materiais mais plásticos com os mais refratários afim de se obter um traço com características físicas e químicas desejadas para a conformação do produto cerâmico que se deseja produzir.

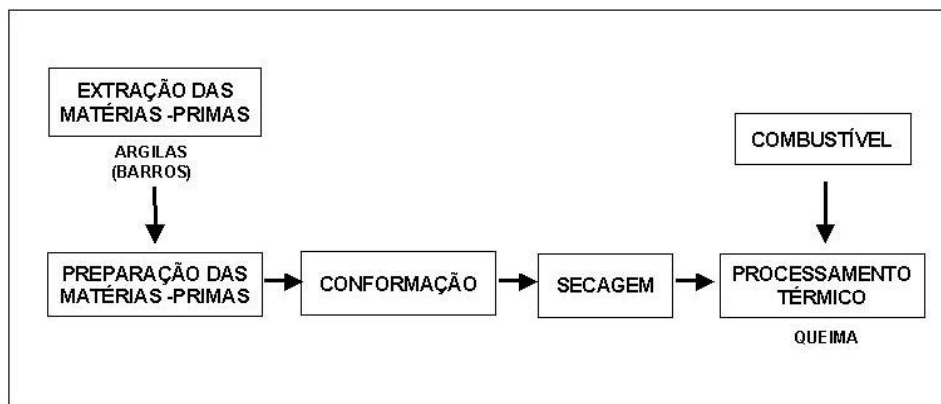


Figura 1. Processo cerâmico (operações básicas), PESSOA, José Manuel Albuquerque de Paula (2004)

A etapa seguinte denominada na figura 1 de conformação, trata-se do empacotamento dos grãos em uma câmara de vácuo e em seguida a extrusão destes dentro do formato da peça que se deseja produzir. Esse processo de empacotamento dos grão e sua extrusão podem levar a geração de trincas nas etapas seguintes caso não seja verificado algumas condições técnicas de equipamento e matéria-prima adequada a produção.

A etapa de secagem consiste em retirar a massa úmida excedente que encontra-se inserida entre os grãos da peça extrudada. É nesta etapa que aparecem as primeiras deformações dimensionais, trincas e avarias decorrentes do manuseio da peça cerâmica.

Por fim as peças secas são enviadas ao tratamento térmico, popularmente conhecido como etapa de queima ou cozimento das peças. Esse tratamento pode chegar a patamares de queima superior a 1.000 °C, entretanto o patamar de temperatura de queima fica em 800 °C na maioria das empresas cerâmicas.

Na etapa de tratamento térmico ou queima das peças dar-se início a um processo de vitrificação dos minerais presentes, porém sem êxito pois o patamar máximo de temperatura não permite a totalidade dessa vitrificação.

No Brasil segundo a Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER) existem atualmente 7431 empresas em atividade das quais 4.820 ou aproximadamente 65 % destas são dedicadas exclusivamente à fabricação de blocos cerâmicos e 2.509 ou aproximadamente 34 % fabricam também telhas cerâmicas, outras 102 empresas fabricam tubos cerâmicos correspondendo uma fatia menor com apenas 1% do total.

Com uma produção mensal aproximada de 4 milhões de milheiros para blocos e 1 milhão e 300 mil milheiros para telhas, o consumo de argila no Brasil para utilização na fabricação desses produtos é considerável sendo consumido segundo dados da ANICER aproximadamente 10.300.000 toneladas de argila por mês.

No Ceará foi realizado um diagnóstico setorial em 2002 pelo Sindicância em parceria com o Instituto Euvaldo Lodi (IEL) e o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) que apontava a existência de 494 empresas espalhadas em 113 municípios do estado, sendo que destas, 324 encontravam-se ativas e 170 foram definidas como paralisadas onde 98,2% das mesmas eram caracterizados por micro (48,9 %) ou pequena (49,3 %) empresa.

Neste estudo foi levantado que destas empresas consideradas ativas adivinha uma produção mensal de peças cerâmicas da ordem de 110.118,8 milheiros dos quais 51.546,9 milheiros eram relacionados a produção de telhas e 58.571,9 milheiros para a de blocos. Se considerarmos o peso médio de um bloco cerâmico na fase de conformação e extrusão em 3 kg teremos então um consumo mensal de argila para fabricação de blocos em 175.715,7 toneladas e se considerarmos o peso médio de uma telha na mesma fase de fabricação em 2 kg, aí teremos um consumo mensal de argila para fabricação de telhas em 103.093,8 toneladas o que totaliza um consumo mensal de aproximadamente 278.809,5 toneladas de argila.

O crescimento da produção de peças cerâmicas no Ceará tem sido notório, consequência de um mercado aquecido com o incremento de financiamentos

imobiliários pelas instituições bancárias, gerando uma procura maior por parte da população a compra de imóveis novos, gerando um “efeito dominó” em toda a cadeia produtiva da construção civil.

Esse novo cenário de mercado resulta no desenvolvimento de técnicas construtivas mais modernas e desta forma com o emprego de materiais padronizados e com qualidade. Com isso as indústrias de cerâmica vermelha começam a ser cobradas por um produto com maior qualidade e que garantam um nível de padronização mínimo. Para tanto, surgem e são atualizadas normas técnicas e legislações para a fabricação de blocos cerâmicos padronizados, como é o caso da NBR- 15270-1- “Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação” e a NBR- 15270-2- “ Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural”.

1.1 – Objetivos:

Nesse contexto, este trabalho tem como foco estudar a utilização de um controle na preparação de misturas de argilas oriundas de duas áreas distintas, contribuindo assim, para uma maior eficiência das etapas de produção com a fabricação de produtos de melhor qualidade.

Visando garantir a qualidade final de um produto cerâmico, buscou a otimização do emprego do material argiloso encontrado nas áreas deste estudo.

1.2.1 – Objetivos específicos

Para se atingir os objetivos pretendidos foram adotadas as seguintes atividades com os enfoques correspondentes:

Caracterização física, química e mineralógica das argilas oriundas de duas empresas cerâmicas, através de ensaios físicos e análises de difração e fluorescência de raio X;

Estudo do comportamento cerâmico desses materiais em diferentes temperaturas de queima, a fim de determinar um patamar de temperatura mais adequado para cada amostra de acordo com o tipo de peça cerâmica produzida;

Otimização das proporções de argila plástica e refratária, utilizadas na preparação da massa;

Avaliação das propriedades de absorção de água dos corpos-de-prova a partir das formulações desenvolvidas;

Determinação do melhor produto cerâmico a ser fabricado a partir das amostras coletadas nas duas áreas do estudo;

CAPÍTULO 02 - CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DO ESTUDO

2. Caracterização das Áreas do Estudo

Foram definidas duas áreas localizadas em regiões que despontam como promissoras na produção de cerâmica vermelha no estado do Ceará em razão da proximidade com depósitos de argilo minerais que garantem condições adequadas para uso em escala industrial.

2.1 Localização das Áreas

A primeira área, denominada neste trabalho de área 1 (Figura 2), encontra-se inserida na região centro-sul do estado do Ceará no município de Jucás, na margem esquerda da planície fluvial do alto curso do rio Jaguaribe, com coordenadas S 6°32'23,69" e O 39°33'48,54".

Partindo de Fortaleza, o acesso se faz pela rodovia federal BR 116 até o Km 70. Na localidade conhecida como triângulo de Quixadá no município de Chorozinho acessa-se a via da direita na rodovia estadual conhecida como estrada do algodão CE 060. A partir do acesso a CE 060 percorre-se mais 315 Km, passando pelas cidades de Quixadá, Quixeramobim, Mineirolândia, Mombaça, Acopiara e Iguatu. Partindo da cidade de Iguatu deve-se acessar a rodovia estadual CE 284 que leva a cidade de Jucás até o quilometro 15 no limite entre os municípios de Jucás e Iguatu. Totalizando 400 km de Fortaleza até a área 1 (Figura 2) deste estudo.

A segunda área (Figura 3) encontra-se inserida no município de Crato no Cariri cearense, especificamente na localidade de Batateiras onde as argilas são extraídas da camada da bacia sedimentar do Araripe conhecida como Formação Rio da Batateira, sendo definida neste trabalho definida como área 2.

Saindo de Fortaleza deve-se seguir até a cidade de Iguatu conforme já mencionado anteriormente, após esta cidade deve-se seguir pela estrada que a liga a cidade de Icó até a bifurcação que leva a rodovia federal BR 122, seguindo pela mesma por mais 57 quilômetros até a BR 230, conhecida como transamazônica, continuando por esta durante mais 33 quilômetros até acessar a rodovia estadual CE 055 na cidade de Farias Brito. Na CE 055 segue por mais 43 quilômetros onde encontra-se a área 2 (Figura 3) inserida nas coordenadas S 7°10'32,82" e O 39°24'37,05".

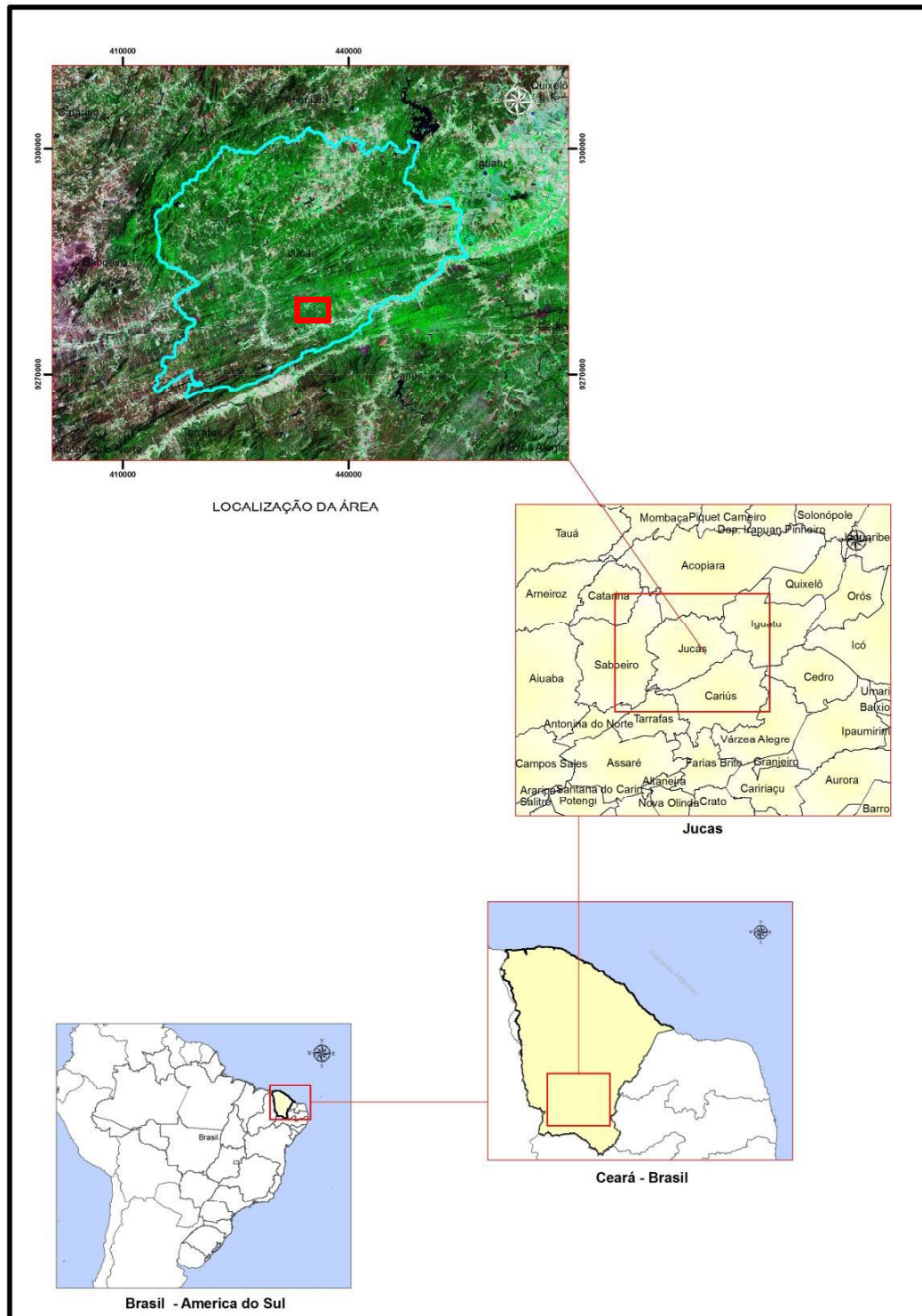


Figura 2: Localização da Área 1 do Estudo (Município de Jucás-Ce) - Elaborado pelo autor

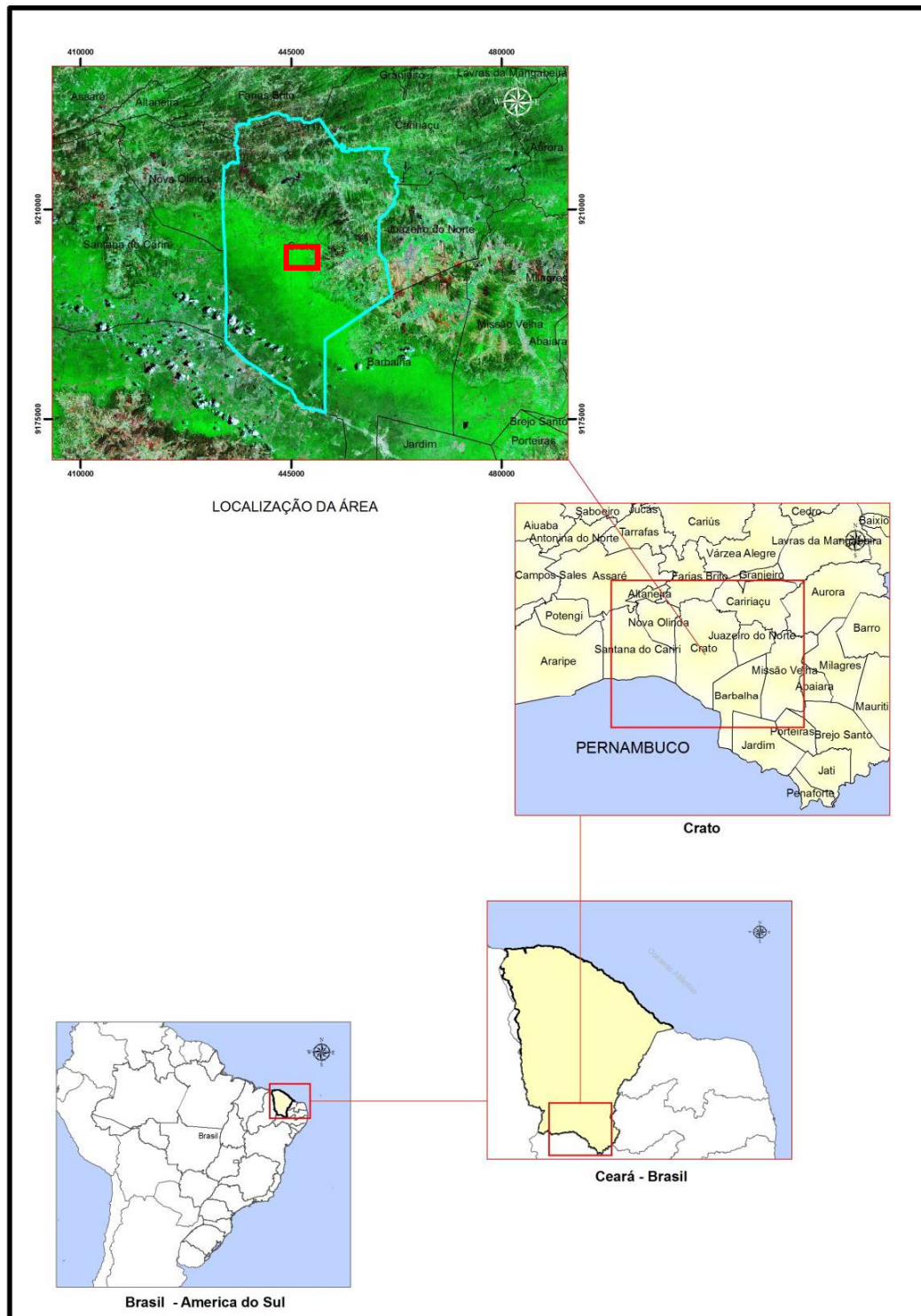


Figura 3: Localização da Área 2 do Estudo (Município de Crato – Ce) - Elaborado pelo autor

2.2 Caracterização Geológica das Áreas

Bacias sedimentares do Interior do Nordeste

As bacias intracratônicas do Nordeste do Brasil são áreas sedimentares cretáceas que tiveram sua origem e evolução controladas por reativações dos alinhamentos estruturais das rochas do embasamento Pré-Cambriano. Os processos geológicos e tectônicos do Cretáceo, diretamente ligados à abertura do Oceano Atlântico, ocasionaram um regime de transcorrência, onde esforços tracionais levaram a falhas normais com abertura de grabens e meio-grabens na atual região central do Nordeste brasileiro (Carvalho, 1996).

Essas bacias interiores do Nordeste do Brasil constituem um conjunto de pequenas bacias fanerozóicas situadas entre as bacias de Tucano-Jatobá, do Parnaíba e Potiguar (Figura 4). Embora tenham sido consideradas fragmentos de uma única bacia interior (Cordani *et al.*, 1984), suas estratigrafias são particulares indicando histórias geológicas distintas.

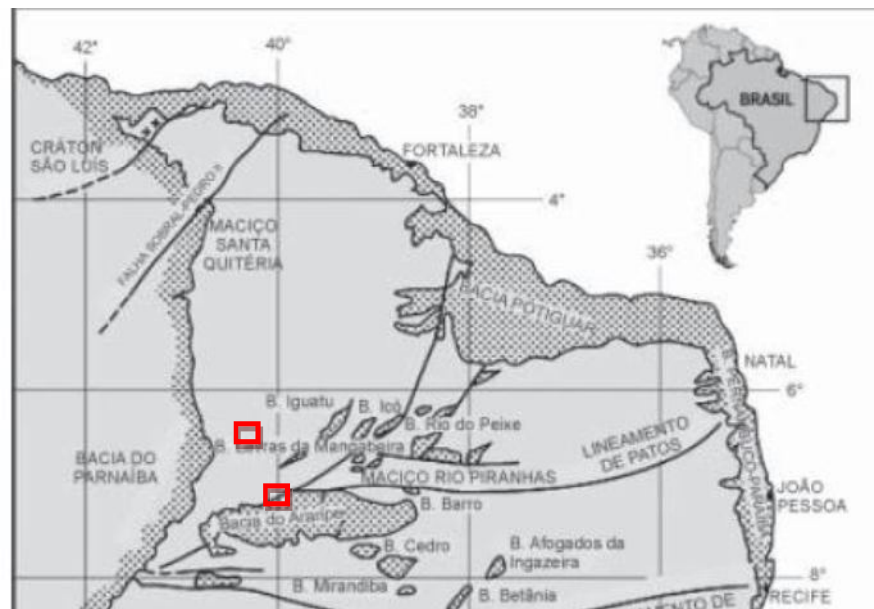


Figura 4. Mapa de localização das principais bacias mesozóicas interiores do Nordeste e bacias maiores adjacentes. Retângulo mostrando as áreas do trabalho, modificado de Santos et al, 1984.

De todas as bacias intracratônicas do Nordeste do Brasil, a Bacia do Araripe é a mais extensa e a mais estudada. É também a mais complexa já que é caracterizada por uma evolução poli-histórica (Assine, 1990; Brito Neves, 1990).

Por outro lado a bacia do Iguatu, é formada por um grupo disperso de quatro pequenas sub-bacias entrecortadas por sistemas de dobras e falhamentos do pré-cambriano localizadas na região centro-sul do estado do Ceará.

2.2.1 Bacia Sedimentar de Iguatu (Área 1)

A bacia do Iguatu, situada na porção central das bacias sedimentares do interior do Nordeste brasileiro é composta pelas sub-bacias de Malhada Vermelha, Lima Campos, Icó e Iguatu que totalizam uma área de 1.110 km².

Estas sub-bacias possuem possível idade Neocomiana (andares locais Rio da Serra e Aratu, Cretáceo Inferior), e seus sedimentos formaram-se em leques aluviais e sistemas fluviais entrelaçados (formações Icó e Lima Campos, primeira e terceira unidade), e processos flúvio-lacustres (formação Malhada Vermelha, segunda unidade), durante o evento rifte que separou os continentes Sul-Americano e Africano (MATOS, 1987; PONTE *et al.*, 1990).

Nesta bacia, ocorrem rochas clásticas (conglomerados, brechas e arenitos) distribuídas principalmente próximo às zonas de falhamento que as limitam. Em áreas mais centrais da bacia ou afastadas das falhas ativas durante a sedimentação, ocorrem arenitos finos, siltitos, folhelhos, argilitos, calcários e margas (Figura 5).

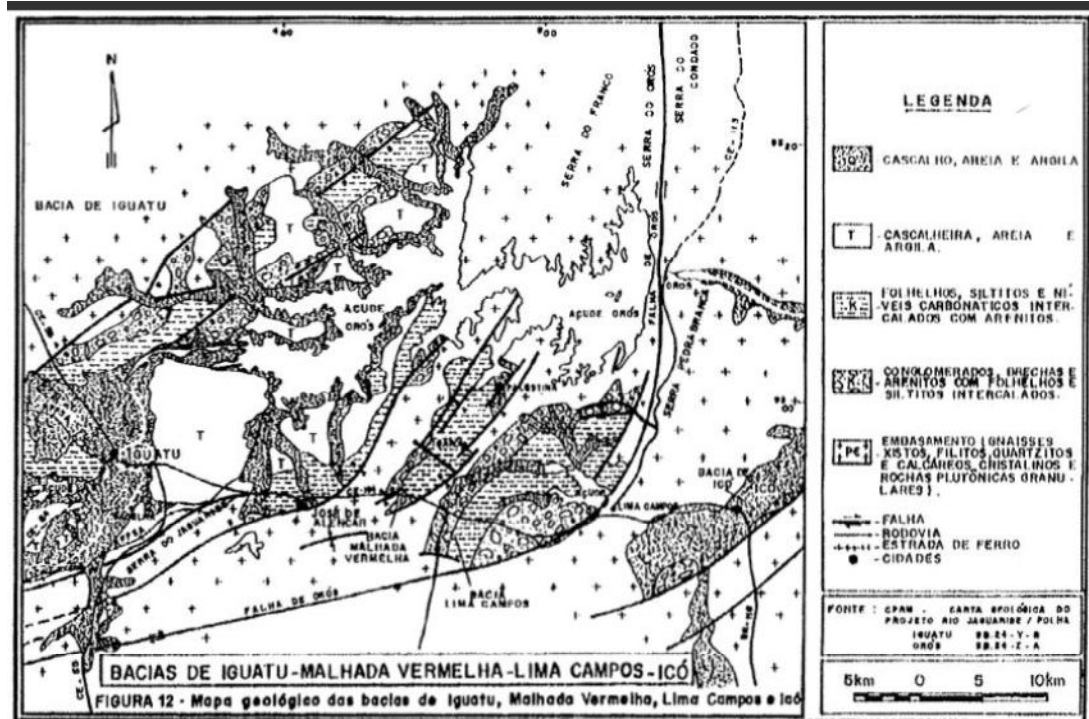


Figura 5 - Mapa Geológico da Bacia Sedimentar do Iguatu de acordo com a Carta Geológica do Projeto Rio Jaguaribe / Folha Iguatu e Orós (CPRM)

A Litoestratigrafia desta área sedimentar é abrangida pelo Grupo Iguatú, com as formações Quixoá (arenitos grossos com intercalações de conglomerados), Malhada Vermelha (arenitos finos, folhelhos e mergas) e Lima Campos (arenitos conglomeráticos e arenitos finos).

A sub-bacia de Iguatu esta localizada na porção oeste da bacia e ocupa uma área de aproximadamente 820km² apresenta forma de um elipsóide orientado segundo a direção NE-SW entalhada entre dois sistemas de falhamento do embasamento pré-cambriano dispostos no mesmo sentido direcional limitador desta sub-bacia .

A grande totalidade da sub-bacia encontra-se encoberto por sedimentos Terciários (Formação Moura), Quaternários e pelo açude de Orós, restringindo a área de exposição às bordas da sub-bacia. As principais cidades e localidade situadas sobre a sub-bacia são Iguatu, Quixelô e José de Alencar. A área do estudo situa-se na borda oeste desta sub-bacia nos limites dos municípios de Jucás e Iguatu (figura 6).

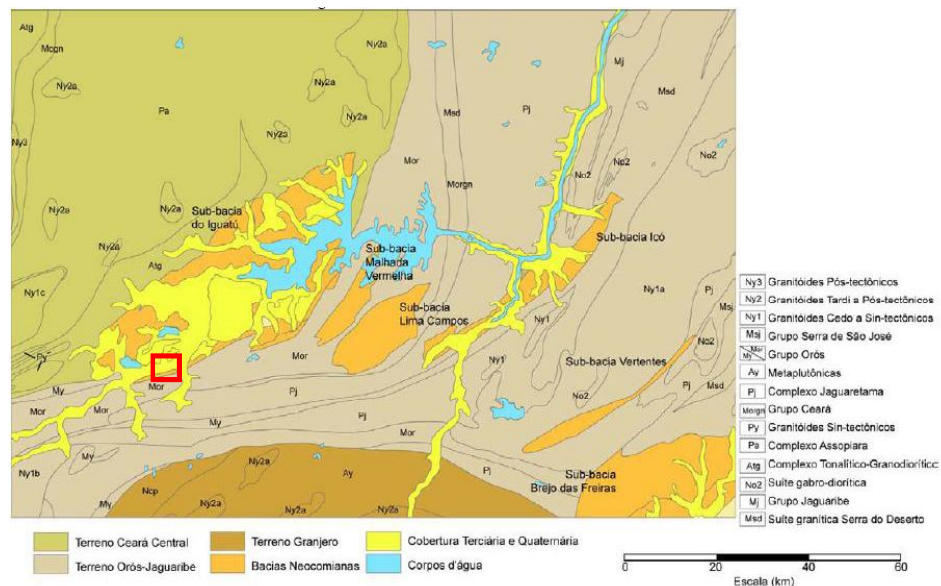


Figura 6 - Mapa geológico da área destacando a geologia do embasamento. A implantação e preservação da sub-bacia do Iguatu se deu nos limites do Terreno Ceará Central e foi controlada pela zona de sutura entre este terreno e o terreno Orós-Jaguaribe. As outras sub-bacias situadas a leste da sub-bacia de Iguatu tem como embasamento o Terreno Orós-Jaguaribe, (Mod. Gomes et al. 2000).

2.2.2 Formação Rio Batateira (Área 2)

A formação Rio da Batateira definida por Ponte e Appi (1990) é equivalente a Formação Barbalha de Assine (1990) e representa o estágio inicial da tectono-sequência Pós-rift da Bacia do Araripe(Figura 07). Apresenta uma espessura de aproximadamente 200m e está constituída por duas associações de fácies principais: a) na base, uma associação fluvial e b) no topo, uma associação lacustre-deltáica.

De idade Cretáceo Médio esta Formação compõe-se de arenito fluviais médios a grossos, gradando, ascendentemente, para arenitos médios a finos, siltitos argilosos bem estratificados e se encerra com uma seção de folhelhos negros, orgânicos, fossilíferos.

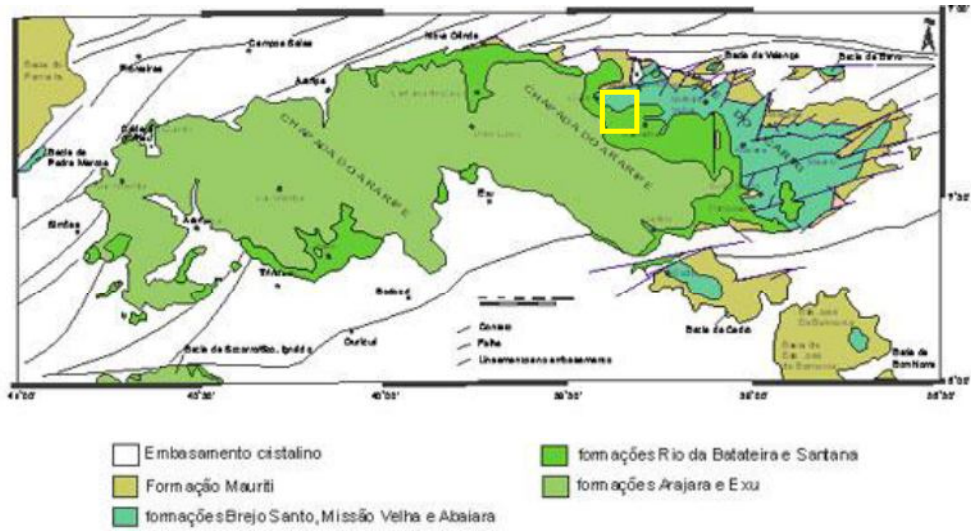


Figura 07 - Mapa geológico simplificado da Bacia do Araripe, modificado de ALBUQUERQUE *ET AL.*, 2000; SALES & SIMÕES, 2000).

CAPÍTULO 03 - MATERIAIS E MÉTODOS

3. Materiais e métodos

3.1 – Materiais

Para a realização de uma análise comparativa dos materiais argilosos utilizados na fabricação de peças cerâmicas nas áreas acima mencionadas foram escolhidas duas áreas devido ao tipo de material argiloso utilizado na indústria cerâmica.

A área 1 (Figura 2) encontram-se inserida em uma planície de inundação do rio Jaguaribe em sedimentos desagregados e com maior incidência de matéria orgânica e impurezas no material utilizado. Essas impurezas ocorrem devido a ação de transporte fluvial do rio Jaguaribe que traz de áreas a montante essas impurezas depositando-as no local de extração, fator este contribuinte para geração de material argiloso com características distintas e desta forma com propriedades físicas e mineralógicas diferenciadas, não sendo indicado o mesmo manejo e aplicação na confecção de peças cerâmicas (Figura 8).



Figura 8 – Local de extração de argila da área 1 com a presença de sedimentos de tonalidade variando do cinza claro ao marrom escuro.

Na área 2 (Figura 3) no município do Crato os depósitos de argila estão localizados nas encostas sedimentares da chapada do Araripe em camadas estratificadas com a parte superior formada por um material mais arenoso sobreposta a uma camada de argilito. Essas camadas tem espessura variando de 10 a 20 metros e coloração variando de amarelo claro a marrom chocolate (Figura 9 e 10)



Figura 9 e 10 – Estratificação da área 2 com a presença de material arenoso mais claro na camada superior e de argilito com tonalidade marrom chocolate no sub-estrato inferior. Como referência de escala, trena de 2 metros.

O entendimento dos materiais argilosos estudados é fundamental para a determinação do traço ideal para fabricações de tipos diferentes de peças cerâmicas, pois esses produtos tem suas características e uso diferenciado. Esse traço é realizado nas empresas cerâmicas de maneira empírica e através de métodos de erro e acerto utilizando material argiloso mais plástico e mais refratário em combinação. Esses materiais são vulgarmente chamados de argila “forte” ou “gorda” para os mais plásticos e “fraca” ou “magra” para os mais refratários.

Para a produção de telha cerâmica deve-se buscar atender a certas características técnicas e visuais por se tratar de um produto aparente, desta forma as exigências de mercado para que as mesmas tenha um acabamento mais fino passa a ser uma importante característica para o fabricante. Da mesma forma é necessário que a mesma possua propriedades impermeabilizantes.

Para os fabricantes de tijolos e blocos cerâmicos as exigências quanto a aparência do material e sua impermeabilização não são tão necessárias, no entanto por sua vez necessitam de uma boa resistência à compressão e características dimensionais adequada como desvio de planeza e de esquadro de no máximo 3mm.

3.2 Métodos

Os testes tecnológicos e o levantamento das características mineralógicas existentes nas amostras das duas áreas deste estudo foram realizados pelos laboratórios de Cerâmica Vermelha (LCV) do SENAI do Ceará e de Raio X do departamento de Física do Centro de Ciências da UFC respectivamente.

Para a caracterização tecnológica foram realizados os testes de determinação granulométrica, limite de plasticidade e de liquidez, índice de plasticidade, perda de massa ao fogo, retração linear, absorção de água e resistência a compressão.

Para a caracterização mineralógica foram realizadas análises de difração de raio X – DRX e de fluorescência de raio X – FRX.

Com base nos resultados obtidos nestes ensaios e levantamentos foi possível realizar uma análise prévia das condições presentes nas amostras das duas áreas em estudo afim de apontar uma combinação dos materiais disponíveis mais adequada para a produção de blocos e telhas cerâmicas.

Para determinação das Amostras ficou definido a seguinte nomenclatura:

a) Amostras da área 1:

A1 – Jucás (argila gorda ou forte)

A2 – Poagem (argila magra ou fraca)

A3 – Mistura de 2:1 feita na empresa (2 da A2 para 1 da A1)

b) Amostras da área 2:

B1 – Chocolate (argila gorda ou forte)

B2 – Batateiras (argila magra ou fraca)

B3 - Mistura de 2:1 feita na empresa (2 da B2 para 1 da B1)

3.2.1 – Ensaios Físicos

3.2.1.1 – Determinação Granulométrica

Os ensaios granulométricos foram realizados pelo Laboratório de Cerâmica Vermelha do SENAI adotando o método de quarteamento para determinação da amostragem dos materiais coletados nas áreas do estudo.

Após tratamento inicial de secagem e quarteamento, as amostras A1, A2, B1 e B2, foram moídas em moinho de martelo, separadas em quotas de 100g para os ensaios de granulometria.

Os ensaios granulométricos foram realizados com a utilização de 5 (cinco) peneiras granulométricas com peso previamente conhecido nas malhas 140, 200, 325, 400 e 500 além do fundo, constituindo 6 classes granulométricas conforme indicadas na Tabela 1:

TABELA 01: Classes granulométricas com base na ABNT NBR NM ISO 3310-1

Classe	Malha	Abertura
1	140	0,105mm
2	200	0,074mm
3	325	0,044mm
4	400	0,037mm
5	500	0,025mm
6	Fundo	menor que 0,025mm

Elaborado pelo autor

Para a realização do ensaio granulométrico, além das peneiras, foi utilizado um Peneirador Eletromagnético de bancada, marca PAVITEST, capacidade para 8 (oito) peneiras de $\text{Æ} 8 \times 2$ (Foto 4).



Figura 11: Peneiras e Peneirador eletromagnético utilizado no método seco

A frequência de vibração utilizada no peneirador eletromagnético foi de 60% constante durante 60 minutos na primeira etapa do ensaio denominada de método a seco.

Após concluídos o tempo no peneirador eletromagnético as peneiras juntamente com o material nelas contido seguem para a etapa de peneiramento a úmido, que consiste na exposição do conjunto de peneira com o material sedimentar existente a um fluxo de água contínuo por toda a sua extensão de abertura durante um período de duas horas, tempo necessário para desagregação de torrões remanescentes e a ação mecânica da água sobre o materiais existentes nas malhas selecionadas no trabalho.

Esta segunda etapa do ensaio denominada de método úmido é complementar ao primeiro método e deve ser feito sem a utilização do fundo para que a água possa passar por todas as malhas com o mínimo de pressão necessária e de maneira abundante, sendo observado que não pode haver acúmulo de água nas peneiras a fim de evitar a fuga de sedimentos mais finos pelas laterais da peneira.

Após a etapa a úmido todas as peneiras juntamente com o material residual seguem para a etapa de estufagem realizada em uma Estufa Microprocessada de Secagem – Quimis Q317M (Foto 5) com temperatura controlada em $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ para secagem do material após a lavagem em água corrente durante um período de 2 (duas) horas. Foi necessário a realização destes dois métodos de ensaio combinados considerando a extensa faixa granulométrica que se propõe a trabalhar, a partir de grãos menores que 25 microns e maiores que 106 microns e as características plásticas dos materiais das amostras.



Figura 12: estufa Microprocessada de Secagem – utilizada no método úmido

3.2.1.2 – Determinação do Índice de Plasticidade:

O teste de limite de plasticidade foi realizado de acordo com a ABNT NBR 7180/1984, determinação do limite de plasticidade. Para tanto foram utilizados alguns materiais como cápsula de porcelana com capacidade para 500ml, espátula com lâmina flexível com 8cm de comprimento e 2 cm de largura, placa de vidro com superfície esmerilhada, cilindro de comparação de 3mm de diâmetro e 10cm de comprimento, balança digital, recipientes de acondicionamento das amostras sem perda de umidade, estufa com temperatura de 105°C a 110°C, água destilada.

O ensaio de determinação do Limite de Plasticidade consiste, basicamente, em se determinar a umidade do material argiloso quando uma amostra começa a fraturar ao ser moldada com a mão sobre uma placa de vidro, na forma de um cilindro com cerca de 10 cm de comprimento e 3 mm de diâmetro. Para tanto se faz necessário muitas repetições deste ensaio para que se possa chegar a um resultado mais confiável e com uma incerteza de medição aceitável.

O índice de plasticidade (IP) foi determinado pelo limite de Atterberg (limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade), segundo as normas ABNT NBR 6454/1984, ABNT NBR 6459/1984 e ABNT NBR 7180/1984, que implica na diferença entre o limite de liquidez (separa o estado líquido do plástico) e limite de plasticidade (separa o estado plástico do semi-sólido) de acordo com figura nº 13.

O IP define a faixa em que a matéria-prima se encontra no estado plástico sendo máximo nas argilas e nulo nas areias, fornece um critério para se avaliar o caráter argiloso de uma matéria-prima; desta forma quanto maior o índice de plasticidade, tanto mais plástica ela será.

Para o cálculo do Limite de Liquidez e de Plasticidade utilizou-se da Fórmula abaixo:

$$W(\%) = \frac{M_w}{M_{ss}} \times 100 \quad (1)$$

Onde :

W(%)= Teor de Umidade

Mw = Massa úmida

Mss = Massa solo seco

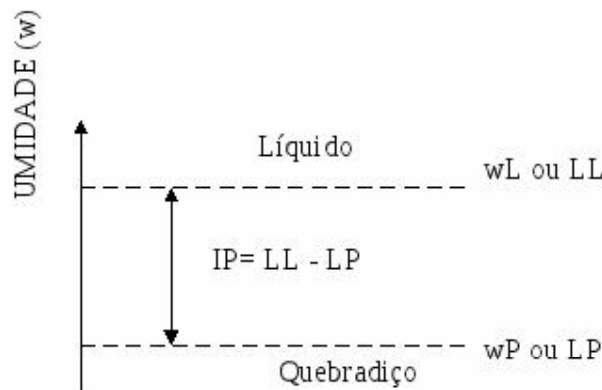


FIGURA 13: **Índice de Plasticidade** diante dos limites de Atterberg

3.2.1.3 – Perda de Massa ao Fogo e Retração Linear:

Os testes de perda de massa ao fogo e retração linear foram realizados pelo método de diferenciação das medidas dos corpos de prova registradas quando úmido, seco e sinterizado (queimado), sendo um método bastante simples e indicado como controle operacional em uma linha de produção de produtos cerâmicos.

Para tanto se faz necessário a confecção de corpos de prova a partir da mistura das amostras onde foram utilizadas 1 porção de A1 para duas porções de A2 e uma porção de B1 para duas porções de B2, obtendo-se desta forma as amostras CPA e CPB. Para isso foram utilizados uma mini-extrusora de fabricação Gelenski com câmara de vácuo e um moinho para quebra dos torrões e preparação da massa enviada a extrusão com a utilização de câmara de vácuo que simulou uma produção de blocos cerâmicos de acordo com o processo industrial utilizado nas empresas cerâmicas das áreas do estudo.

Após a confecção destes corpos de prova, os mesmos foram pesados, medidos e identificados como CPA e CPB e levados inicialmente a estufa, onde foram secados à $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ em uma Estufa Microprocessada de Secagem (2 portas) – Quimis Q317M durante um período de 12 horas onde foram novamente pesados, retornando para um novo período de mais 6 (seis) horas até que seu peso não sofresse mais variação.

Após conclusão da etapa de secagem os corpos de prova foram novamente pesados e medidos e posteriormente enviados ao forno para sinterização a 4 (quatro) diferentes patamares de temperatura, à 800°C , 900°C , 1.100°C e à 1.250°C , com patamar de 30 minutos em 500°C e de duas horas em temperatura final de queima. As amostras foram queimadas em fornos tipo mufla com rampa e aquecimento de aproximadamente $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Após conclusão de cada queima os corpos de prova foram novamente pesados e medidos pela última vez para possibilitar a realização da análise comparativa em relação à retração linear, do mesmo modo é obtida a perda de massa e umidade já que foi realizada a pesagem nos três diferentes estágios.

3.2.1.4 – Teste de absorção de água:

O teste de absorção de água foi feito com a utilização de um tanque com água e uma estufa, onde os corpos de prova após serem sinterizados foram pesados e submersos na água por 24 horas. Após período de imersão os mesmos foram novamente pesados e enviados a estufa Microprocessada de Secagem – Quimis Q317M com temperatura controlada em $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ para que possam eliminar o excesso de água adquirido anteriormente.

Após 12 horas de estufagem os mesmos são pesados e novamente são colocados na estufa para mais um período de 6 horas. Após este período se houvesse variação no peso os corpos de prova retornariam para a estufagem para mais um período, no entanto não houve necessidade pois não ocorreram variações nos testes realizados.

3.2.1.5 – Resistência à Compressão:

O ensaio de Resistência à Compressão foi feito com a utilização de equipamento de compressão hidráulico de fabricação EMIC modelo PC 200C com capacidade para rompimento de até 200Ton.

O método utilizado neste ensaio de resistência a compressão segue o determinado pela ABNT NBR 6.461/1983.

O teste de resistência a compressão não foi realizado com os corpos de prova de mesma dimensão, pois o equipamento de compressão do LCV tem célula de carga de 2.000KN sendo assim superdimensionada para os mesmos. Desta forma foi necessária a utilização de corpos de prova com dimensões idênticas aos produtos acabados fabricados pelas duas empresas cerâmicas.

3.2.2 Caracterização químico-mineralógica

A caracterização químico-mineralógica de argilas e a determinação das propriedades física permitem estudar os beneficiamentos que devem ser feitos para alterar uma ou várias propriedades do corpo cerâmico, e melhorar as propriedades do produto final (COELHO, ROQUEIRO & HOTZA,2002).

Os ensaios necessários para a caracterização mineralógica foram realizados no Laboratório de Raio-X do Centro de Ciência da UFC, onde foram realizadas análises de DRX e FRX nas amostras provenientes das duas áreas do estudo.

3.2.2.1 Análises de DRX

As análises de difração de Raios X (DRX), foram feitas Difratorômetro para amostras policristalinas modelo DMAXB – Rigaku gerador de raios X de 2kW equipado com tubo de Cu.

Nele a captação do eixo difratado foi feita por meio de um detector, segundo um arranjo geométrico conhecido como a geometria Bragg-Brentano (Figura 14) que habilita a obtenção do ângulo 2θ .

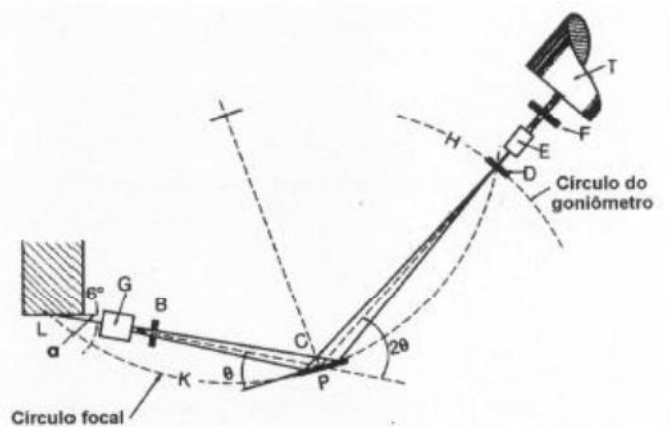


Figura 14 Geometria parafocal Bragg-Brentano (JENKINS e SNYDER, 1996).

O feixe difratado é normalmente expresso através de picos que se destacam do “background” (ou linha de base), registrados num difratograma de intensidade versus o ângulo 2θ constituindo o padrão de difração ou difratograma. As intensidades

obtidas em ângulos 2θ , representadas através dos picos nos difratogramas, correspondem à difração do feixe incidente por um determinado conjunto de planos do cristal, que possuem mesma distância interplanar, cada qual com índices de Miller hkl (reflexões hkl). O padrão de difração representa uma coleção de perfis de reflexões individuais ou picos difratados. A intensidade integrada é proporcional à intensidade de Bragg, I_{hkl} . As informações obtidas de cada pico são a intensidade, a posição angular (2θ) ou distância interplanar (d) e o perfil. Cada composto cristalino apresenta um padrão difratométrico característico, permitindo sua identificação através das posições angulares e intensidades relativas dos picos difratados (NOGUEIRA, Núbia Alves de Souza, 2005).

3.2.2.2 Análises de FRX

A caracterização elementar das amostras foi realizada em um equipamento de Fluorescência de Raios-X, (modelo ZSX miniII, da Rigaku, condições de operação 40KV e 1,2 mA, tubo de Pd) que produz análises qualitativas e semiquantitativas dos elementos de massa atômica, maior ou igual à massa atômica do Flúor, cujos resultados foram obtidos como gráficos de excitação por fluorescência em faixas de ângulos específicos para cada elemento e interpretados por software específico do equipamento e disponibilizados na forma de composição percentual relativa entre os elementos constituintes.



Figuras 15 e 16: Estufa usada nos testes de retração linear e absorção de água e mini-extrusora utilizada para confecção de corpo de prova.



Figuras 18 e 19: Moinho de facas utilizado na preparação da massa a ser moldada na confecção dos corpos de prova e forno utilizado para queima dos corpos de prova.



Figura 19: Prensa utilizada para resistência a compressão Figura 20: Equipamento utilizado para FRX

CAPÍTULO 04 - RESULTADO E DISCUSSÃO

Tabela 2: Resumo da Classificação Granulométrica das Amostras

Classificação Granulométrica			
Área	Amostra	Resíduo da abertura 0,044mm – Mesh 325	Classificação
1 (Jucás)	A1	50,75	Argilo-arenoso
	A2	58,57	Franco-argiloso arenoso
2 (Crato)	B1	43,92	Argila
	B2	54,65	Argilo-arenoso

Elaborado pelo autor

Tabela 3: Classificação granulométrica das amostras coletadas

Composição Granulométrica					
Área	Amostra	Areia %	Silte %	Argila %	Classificação
2 (Crato)	B1	39,86	13	47,14	Argila
	B2	45,28	16,94	37,78	Argilo-Arenosa
1 (Jucás)	A1	45,23	12,52	42,25	Argilo-Arenosa
	A2	56,63	12,82	30,65	Franco Argiloso Arenosa

Elaborado pelo autor

Foi realizada uma análise das amostras A1, A2, B1 e B2 na qual foi possível descrever diferentes características dos variados tipos de grãos através de oculares de diferentes aumentos (28 e 32 vezes) utilizando-se o estereoscópio (lupa científica) da marca Carl Zeiss, modelo Stemi DV4.

Através da análise visual (figura 22, 23 e 24) evidencia-se cristais de quartzo presentes na amostra B2 que pode representar uma característica correspondente à material mais refratário de tonalidade alaranjada e feições angulares. Considerando a granulometria verifica-se uma elevada presença de material arenoso (45,28%) corroborando com o resultado do ensaio granulométrico cuja classificação do obtida foi argilo-arenosa.



Figura 22: Amostra B2 aspecto visual sem lupa

28x



Figura 23: Amostra B2 com zoom de

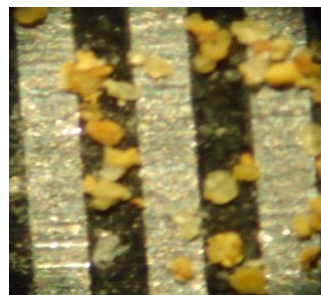


Figura 24: Amostra B2 sobreposta em regua de 1mm com zoom de 28x

Considerando a análise visual da amostra B1 (figuras 25, 26 e 27) evidencia-se sedimentos mais finos com quase nenhuma presença de cristais de quartzo e tonalidade marrom chocolate. Considerando a granulometria verifica-se um bom índice de material argiloso(47,14%) resultando na classificação argila encontrado no resultado do ensaio granulométrico (Tabela 4).



Figura 25: Amostra B1 aspecto visual sem lupa



Figura 26: Amostra B1 com aumento de 28x

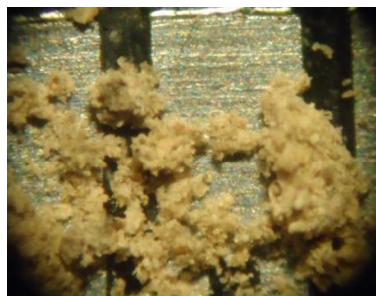


Figura 27: Amostra B1 sobreposta em regua de 1mm com aumento de 32x

A combinação das amostras B1 e B2 formam uma massa mais coesa devido a diferenciação granulométrica que favorece o processo de empacotamento na fase de extrusão, tendo em vista que os grãos mais finos da amostra B1 preenchem os vazios formados pelos grãos da amostra B2, esses com diâmetro maior.

A diferenciação granulométricas dos materiais proporciona a peça um aspecto mais bem acabado ou menos grosseiro bem como maior capacidade de impermeabilização ao produto final, características exigidas para a produção de telhas

Na amostra A1 é possível evidenciar a existência de impurezas de cristais de quartzo e matéria orgânica com grãos mais arredondados característicos de material aluvionar, de tonalidade cinza-escuro devido a maior presença de material orgânico na amostra (figuras 28 e 29). Considerando a granulometria verifica-se a presença de material arenoso resultando na classificação argilo-arenoso encontrado no resultado do ensaio granulométrico.



Figura 28: Amostra A1 - Zoom 28x



Figura 29: Amostra A1 sobreposta em regua de 1mm - Zoom 28x

Através da análise visual (figuras 30,31 e 32) da amostra A2 evidencia-se que os materiais estão associados em aglomerados de minerais que levam a formação de torrões, com tonalidade cinza-claro devido a menor presença de material orgânico na amostra. Considerando a granulometria verifica-se a presença de 53,62% de areia

resultando na classificação Franco Argiloso Arenosa encontrado no resultado do ensaio granulométrico, sendo a amostra com maior incidência de material arenoso.



Figura 30: Amostra A2 aspecto visual sem lupa



Figura 31: Amostra A2 com aumento de 28x

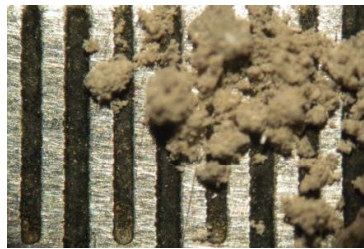


Figura 32: Amostra A2 sobreposta em regua de 1mm com zoom de 28x

Considerando o traço adotado na produção de 2:1 (Duas porções da amostra A2 para uma da amostra A1), bem como os resultados do índice de plasticidade o produto cerâmico oriundo da área 1 (figura 2) deve ter um tratamento granulométrico de quebra de grãos através de moinho para que tenha um melhor empacotamento, levando a um produto mais bem acabado e de melhor impermeabilização, muito embora esse mesmo material demonstra ter melhor uso se empregado na produção de blocos cerâmicos.

4.2 – Determinação de Limite de Plasticidade, Liquidez e Índice de Plasticidade:

Conforme foi visto no capítulo 3 – Materiais e Métodos, o índice de plasticidade – (I_p) é determinado pela diferença entre o limite de liquidez (LI) e o limite de plasticidade (L_p), desta forma após a realização das análises para determinação do L_p e LI de acordo com a normas descritas no capítulo 3, obteve-se os resultados descritos no Tabela 4.

Tabela 4 – Índice de Plasticidade

Área	Amostras	LI	L_p	I_p
1 (Jucás)	1 - A1	58,8	25,6	33,2
	2 - A2	52,2	27,5	24,7
	3 - A3	54,4	26,8	27,5
2 (Crato)	4 - B1	52,6	20,5	32,1
	5 - B2	41,3	22,7	18,6
	6 - B3	45,1	22,0	23,1

Elaborado pelo autor

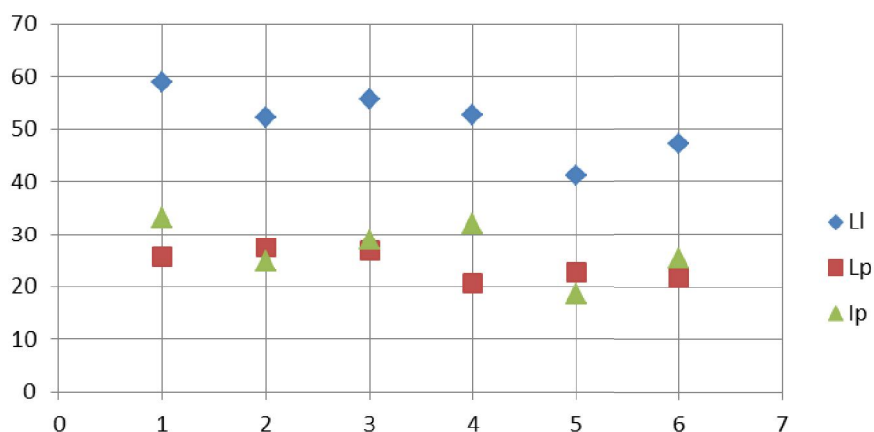


Figura 33: Limites de liquidez e plasticidade e o Índice de plasticidade obtido - Elaborado pelo autor

Constata-se que o menor limite de plasticidade (L_p) encontrado é o da amostra 4 – B1 com 20,5% e o maior limite de plasticidade é o da amostra 2 – A2 com 27,5%. Já nos limites de liquidez o maior evidenciado foi o da amostra 1 – A1 com 58,8% e o menor foi o da amostra 5 – B2 com 41,3%. Considerando a escala que classifica o índice de plasticidade em fracamente plástico ($1 < I_p < 7$), medianamente plástico ($7 <$

$I_p < 15$), altamente plástico ($15 < I_p$) e não plástico (quando não é possível se obter o L_p ou L_l) todas as amostras possuem I_p dentro da faixa de estado de plasticidade de 18,6% (amostra B2) a 33,2% (amostra A1) mostrando-se portanto com um bom desenvolvimento plástico. A amostra A3 foi mais plástica que a amostra B3, desta forma podemos evidenciar um melhor desempenho para a mistura utilizada na área 1.

Embora o índice de plasticidade da área 2 na amostra B3 encontra-se dentro da faixa adequada para produção de telhas que vai de 18% a 26% é possível desenvolver um traço das amostras da área 1 que possibilitem a formação de uma massa que esteja dentro da faixa ideal para a produção de telhas. Porém a plasticidade excessiva pode dificultar perda de umidade no processo de secagem, aumentando a retração linear, levando a geração de defeitos do tipo trincas e imperfeições de esquadro e planeza das peças cerâmicas.

Para tanto a granulometria tornar-se uma importante característica para o desenvolvimento de um traço que leve a um melhor empacotamento dos sedimentos, tornando o corpo argiloso mais coeso e com menor susceptibilidade a formações de trincas provenientes das etapas de extrusão e secagem do material cerâmico. Isto ocorre devido a diferenciação do diâmetro dos grãos, que no momento da conformação da massa recebe uma pressão de vácuo que uni de maneira mais coesa com o preenchimento dos vazios dos grãos maiores por grãos de menor diâmetro, com isso resta menos vazios e naturalmente formam-se menos trincas e micro fissuras.

4.3 – Perda de Massa ao Fogo:

A perda de massa ao fogo foi realizado considerando doze corpos de prova, seis de cada área do estudo, sendo utilizado o mesmo traço usado na preparação da massa que é consumida no processo industrial das respectivas cerâmicas. Logo para os corpos de prova que representaram a área 1 do estudo ficaram denominados de CpA 1, CpA 2, CpA 3, CpA 4, CpA 5, CpA 6 e para os que representaram a área 2 levaram a denominação de CpB 1, CpB 2, CpB 3, CpB 4, CpB 5, CpB 6. Foram utilizados os mesmos corpos de prova para determinação da retração linear e para a absorção de água.

Tabela 5: Valor Médio dos Corpos de Prova para Perda de Massa ao Fogo em 4 patamares de temperaturas de queima diferentes

Nº DE CPS: 06		
Temperatura	Média de CpA (Área 1 – Jucás)	Média de CpB (Área 2 – Crato)
800°C	11,55%	8,6%
900°C	11,67%	8,85%
1.100°C	12,4%	9,1%
1.250°C	12,47%	9,15%
Perda de Massa	Maior	Menor

Elaborado pelo Autor

Analisando os dados dos resultados obtidos na Tabela 5, constata-se uma perda de massa máxima de 12,47% na média das amostras CpA considerando um patamar de queima de 1.250°C, com isso, para fabricação de telhas utilizando amostras da área 1 o patamar máximo de queima deverá ficar entre 800°C e 900°C onde a perda de massa não ultrapassa os 12% considerando que o peso ideal final da telha é de no mínimo 1.000g, pois abaixo deste valor começa-se a correr o risco de destelhamento pela ação eólica. Já para fabricação de blocos não existe este requisito técnico já que a perda de peso entre a peça seca e a queimada não influencia diretamente na qualidade do produto final.

As amostras oriundas da área 1 que compuseram os corpos de prova A – CpA são ricas em impurezas, nitidamente material orgânico com ênfase em raízes de carnaubeiras que é muito encontrada nas planícies fluviais do estado do Ceará, funcionando inclusive em muitos casos como bioindicador de áreas com material argiloso propício a fabricação de peças cerâmicas.

Essas impurezas orgânicas presentes no CpA levaram a uma perda de massa maior que levaram a geração de deformações nos produtos cerâmicos.

Desta forma as amostras oriundas da área 2 apresentam de maneira geral menor perda ao forno e tem mais condições de serem submetidas a temperaturas mais elevadas sem grandes decréscimos na sua massa final, isso se deve pela menor quantidade de material orgânico nas amostras da área 2 em detrimento ao alto teor de matéria orgânica e outras impurezas identificadas nas amostras da área 1.

Com possibilidade de se trabalhar com patamares de temperatura mais elevados pode-se aproximar do processo de vitrificação dos minerais presentes que ocasiona uma maior impermeabilização da peça cerâmica, ou seja, o produto final atenderia a exigências técnicas e de mercado para a produção de telhas cerâmicas.

4.4 – Retração Linear:

Nos testes de retração linear foram medidos a altura, o comprimento e a largura em milímetros com auxílio de um paquímetro digital antes da queima e pós queima para os 12 (doze) corpos de prova já mencionados, com temperatura de 900°C, considerando que este patamar de queima é o praticado atualmente em ambas indústrias utilizadoras dos materiais em questão.

Tabela 6: Retração Linear das amostras à 900°C

Médias da Retração Linear						
Área	Amostra	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Tolerância na Média (mm) NBR 15.270-1	Retração Total (mm³)
1 - Jucás	CpA	1,87	4,13	2,53	3	19,54
2 - Crato	CpB	1.03	3.12	1,87		6,01

Elaborado pelo Autor

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 6) evidencia-se uma maior retração linear nas amostras da área 1 que na área 2, o que demonstra uma presença maior de material refratário nas amostras do grupo CpB, conforme já verificado nos ensaios de granulometria que apresenta 48,28% de porção de areia na amostra B2 (figuras 22, 23 e 24). Outros fatores também corroboraram para a menor retração linear do CpB, entre eles identifica-se um baixo percentual de material orgânica e outras impurezas presentes nas amostras B1 e B2, menor índice de plasticidade (IP) 23,11% na amostra B3 e menor perda de massa de 9,15% no CpB.

A ABNT NBR 15.270-1, exige uma tolerância dimensional de ± 5 mm em cada peça e de ± 3 mm na média. Desta forma as amostras das duas áreas do estudo encontram-se um pouco acima do limite determinado para a média em relação a produção de blocos cerâmicos.

4.5 – Índice de absorção de Água:

Os testes de absorção de água foram realizados em 6 (seis) corpos de prova para cada área, confeccionados em laboratório seguindo os mesmos traços que são praticados nas respectivas empresas de cerâmica vermelha, das áreas 1 e 2 que é de 2:1.

Tabela 7: Índice de Absorção de Água - AA

Índice de Absorção de Água (AA)				
Área	Amostra	Absorção (%)	ABNT NBR 15.310/2005 (Telhas)	ABNT NBR 15.270/2005 (Blocos)
1 – Jucás	CpA	9,7	< 20%	>8% e <22%
2 - Crato	CpB	8,6	< 20%	>8% e <22%

Elaborado pelo autor

A absorção de água é um importante parâmetro a ser considerado na fabricação de telhas, já que as mesmas não devem possuir baixo índice de absorção para que possa servi ao seu propósito de recobrimento e proteção de áreas internas. Por essa razão que a ABN NBR 15.310/2005 não determina limite inferior, apenas o índice máximo de Absorção de Água (AA) em 20%

Desta forma as amostras coletadas na empresa da área 2 tem características mais adequadas para a fabricação de telhas que as amostras coletadas na empresa da área 1, porém ambas apresentam baixo índice de absorção, considerando o limite máximo determinado pelas normas brasileiras que é de 22% para blocos e 20% para telhas.

Por não haver limite inferior de índice de absorção de água na produção de telhas, quão mais baixo for o índice de absorção de água, maior será a sua qualidade, pois com isso a telha terá índice de impermeabilização maior.

Desta forma a queima dos produtos para fabricação de telhas na empresa da área 1 poderá ter um patamar de queima mais elevado do que o praticado atualmente que é de 900°C para que possa diminuir o índice de absorção de água através de processo de sinterização dos materiais sedimentares em temperaturas maiores próxima a 1.000°C.

4.6. Resistência a Compressão:

Os ensaios de resistência à compressão, foram realizados a partir de produtos acabados confeccionados com as argilas oriundas das áreas deste estudo. Na área 1 localizada no município de Jucás foram utilizados os blocos cerâmicos produzidos na cerâmica Jucás detentora da área de extração de onde foram coletadas as amostras de várzea onde se utilizam um traço de 2:1 para a composição da massa disponibilizada na produção das peças cerâmicas, ou seja para cada 1 porção de argila “forte” ou “gorda” (denominada de amostra A1), 2 de argila “fraca” ou “magra” (denominada de amostra A2).

Na área 2 localizada no município do Crato, na localidade de Batateiras foram utilizados os blocos provenientes da Cerâmica Cocrato, detentora da área de extração de onde foram coletadas as amostra de morro deste trabalho. Que seguem um traço de 2:1, ou seja para 2 porções de amostra B2 utiliza-se 1 porção de amostra B1.

Seguem nas Tabelas 8, 9, e 10 as características dimensionais dos produtos coletados nas duas empresas, essas características são importantes para o ensaio de resistência a compressão por contribuírem nos resultados relacionados a resistência a compressão dos blocos cerâmicos

Tabela 8: Dimensões médias dos Corpos de Prova (Blocos)

Dimensões médias dos blocos coletados				
Área	Amostra	Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)
1 – Jucás	CpA	92,65	190,62	186,73
2 – Crato	CpB	89,30	187,73	197,85
ABNT NBR 15.270/2005(Blocos)	-	90,00 ± 3	190 ± 3	190 ± 3

Elaborado pelo autor

Tabela 9: Desvio de planeza dos corpos de prova (Blocos)

Desvio de planeza dos blocos coletados		
Área	Amostra	Desvio Registrado (mm)
1 – Jucás	CpA	3,6
2 – Crato	CpB	1,7
ABNT NBR 15.270/2005 (Blocos)	-	Máximo 3,0

Elaborado pelo autor

Tabela 10: Espessura Média das Paredes e dos Septos

Espessura Média das Paredes e dos Septos			
Área	Amostra	Paredes Externas	Septos
1 – Jucás	CpA	7,1	6,2
2 – Crato	CpB	5,8	6,2
ABNT NBR 15.270/2005(Blocos)	-	7,0	6,0

Elaborado pelo autor

Tabela 11: Resistência à Compressão, valores médios.

Resistência à compressão				
Área	Amostra	Área (cm²)	Resistência média (Mpa)	ABNT NBR 15.270/2005 (Blocos)
1 – Jucás	CpA	173,0	2,4	1,5
2 – Crato	CpB	176,7	2,7	1,5

Elaborado pelo autor

Analisando os resultados apresentados nas tabelas 08 a 11 podemos constatar que o lote coletado na empresa da área 1 (CpA) apresenta menor resistência a compressão em relação ao lote coletado na empresa da área 2(CpB). Mesmo com maior espessura das paredes na média das amostras coletadas da área 1(CpA) em relação aos da área 2(CpB), isso se deve as feições dos furos dos blocos que no caso dos da empresa da área 1(CpA) são circulares, tornando a parede interna do bloco menos resistente em detrimento dos blocos da empresa da área 2(CpB) que detinham os furos quadrados como são comumente conhecidos. Isso deve em razão da tensão gerada nos pontos de cruzamento dos septos que no caso do CpB esta disposto em ângulo reto, proporcionando maior resistência a tensão, já no CpA essa distribuição da tensão na se faz na mesma resultante devido ao arredondamento que contribui para o aumento da força tensional devido ao acréscimo de massa não estrutural nesses elos de ligação ou cruzamento dos septos.

A granulometria corrobora na resistência uma vez que quanto mais coeso for o empacotamento dos sedimentos na massa no momento da extrusão da peça maior será a resistência registrada, muito embora sabe-se que o tratamento térmico dado na etapa

de queima é de fundamental importância para essa característica física das peças. Neste sentido os blocos oriundos da área 2 tem maior vantagem devido terem obtido menor retração linear e perda de massa ao fogo, podendo assim receber tratamento térmico com patamares de temperatura maiores como já verificado anteriormente.

Tabela 12 – Tabela Resumo dos Resultado de Caracterização Tecnológica

Tabela Resumo dos Ensaios Tecnológicos							
Área do Estudo	Amostra	IP	Classificação Granulométrica e resíduo da Peneira 0,044mm (%)	Perda de Massa em 800°C (%)	Retração Linear (mm)	Resistência a Compressão (Mpa)	Absorção de Água (%)
Área 1 - Jucás Traço 2:1 (2 do A2 para 1 do A1)	CpA	-	-	11,55	19,54	2,4	9,7
	A3	27,5	-	-	-	-	-
	A1	33,2	Argilo-Arenoso – (50,75)	-	-	-	-
	A2	24,7	Franco-Argiloso – (58,57)	-	-	-	-
Área 2 - Crato Traço 2:1 (2 do B2 para 1 do B1)	CpB	-	-	8,6	6,01	2,7	8,6
	B3	23,1	-	-	-	-	-
	B1	32,1	Argila – (43,92)	-	-	-	-
	B2	18,6	Argilo-Arenoso – (54,65)	-	-	-	-

Elaborado pelo Autor

Podemos afirmar que de acordo com os resultados apresentados na tabela 12, resumo dos ensaios tecnológicos, a matéria-prima argilosa da área 1 tem características físicas que resultam em uma combinação mais indicada para a produção de blocos de vedação sem fins estruturais e para a produção de telha colonial ou “extrusada” se for realizada um beneficiamento das matérias-primas através de técnicas de sazonalidade da massa e quebra dos grãos através de moinho específico. Desta forma e com controle da entrada de matéria-prima testada através de ensaio de resíduo na peneira nº 325 pode-se alcançar um melhor material, diminuindo as trincas e imperfeições que levam a perda de qualidade do produto final.

Para os materiais oriundos da área 2, percebe-se que devido ao Índice de Plasticidade de 23,1%, a granulometria das amostras com maior teor de fração argila 47,14% na amostra B1, menor perda de massa ao fogo com 8,6%, menor retração linear 6,01% e menor índice de absorção de água com 8,6%, pode-se obter peças cerâmicas de maior valor agregado como a

telha “prensada”, também conhecida como “capa-canal”, que necessitam de material com características físicas assemelhadas aos apresentados nos ensaios das amostras B1 e B2.

4.7. Caracterização Química das Amostras

Fluorescência de Raio X - FRX

A caracterização química foi realizada através do uso de FRX conforme mencionado no capítulo 3 (materiais e métodos), no entanto foram divididas as amostras em 4 tipos por área, conforme tabela abaixo:

Tabela 13: Caracterização das amostras de DRX e FRX

Tipo	Área (localização)	Denominação da amostra
Argila “forte”	1 (Jucás)	A1
Argila “fraca” ou poagem	1 (Jucás)	A2
Argila “forte”	2 (Crato)	B1
Argila “fraca” ou poagem	2 (Crato)	B2

Elaborado pelo autor

Desta forma segue abaixo os gráficos dos resultados obtidos em cada amostra no teste de FRX.

Tabela 14: Percentual dos óxidos obtidos na FRX das amostras coletadas

Áreas	1 – Jucas		2 – Crato	
	A1 %	A2 %	B1 %	B2 %
Na ₂ O	0,297	0,3575	0,4519	-
MgO	1,9896	2,2412	2,0834	2,1322
Al ₂ O ₃	28,0289	27,5412	23,5628	17,2664
SiO ₂	53,4551	53,2948	57,4829	70,0466
P ₂ O ₅	0,2179	-	0,2277	0,1027
SO ₃	0,0544	-	-	-
K ₂ O	3,1948	3,3395	3,8072	3,5783
CaO	0,9645	1,1289	1,5161	0,4886
TiO ₂	1,5267	1,3475	1,4282	1,2526
Cr ₂ O ₃	0,0501	-	-	-
MnO	0,0799	0,0589	0,108	0,1409
Fe ₂ O ₃	10,0684	10,6641	9,3319	4,9654
ZnO	0,0394	0,0263	-	-

Elaborado pelo autor

A composição química das amostras reflete a natureza essencialmente argilosa dos minerais, com predominâncias de SiO₂ e Al₂O₃.

Outra característica é a ausência de Na₂O na amostra B2, que justifica a menor perda ao fogo (PF) na amostra CpB nos ensaios tecnológicos.

Os índices de óxido de ferro (Fe₂O₃) registrados nas amostras A1, A2 e B1 de 10,0684%, 10,6641% e 9,3319% respectivamente demonstram uma facilidade de obtenção de peças com coloração avermelha em patamares de queima com temperaturas menores, entretanto não são indicadas para utilização como cerâmicas aparentes ou telhas em áreas com alto índice de ataque de maresia, pois desta forma a reação do óxido de ferro pode provocar a formação de patologias nas peças a médio-longo prazo.

Na amostra A1 a fórmula química obtida foi a seguinte:



Enquanto que na amostra A2 oriunda da mesma área da amostra A1 obteve a seguinte fórmula química:



Nas amostras oriundas da área 2 (Crato) foram obtidas fórmulas químicas bem diferenciadas nas duas amostra, sendo na amostra B1 a fórmula química: $K_{0,61}Ca_{0,20}Mn_{0,01}Mg_{0,38}Fe_{0,87}Ti_{0,13}Al_{3,44}Si_{7,13}O_{20}(OH)_4$ e na amostra B2 obteve-se:



Difração de Raio X – DRX

A análise difratométrica utilizada na identificação dos minerais presentes nas argilas da área 1, amostras A1 e A2, apresentou, em geral, similaridades mineralógicas entre si. Nos difratogramas dessas amostras (figuras 34 e 35), foram identificados na fração argila illita e caulinita. Na amostra A2 ainda foi possível evidenciar a presença de nontronita e quartzo.

As diferenças, aparentemente pequenas, são suficientes para dar características cerâmicas diferenciadas entre as argilas A1 e A2, como demonstrado na caracterização tecnológica.

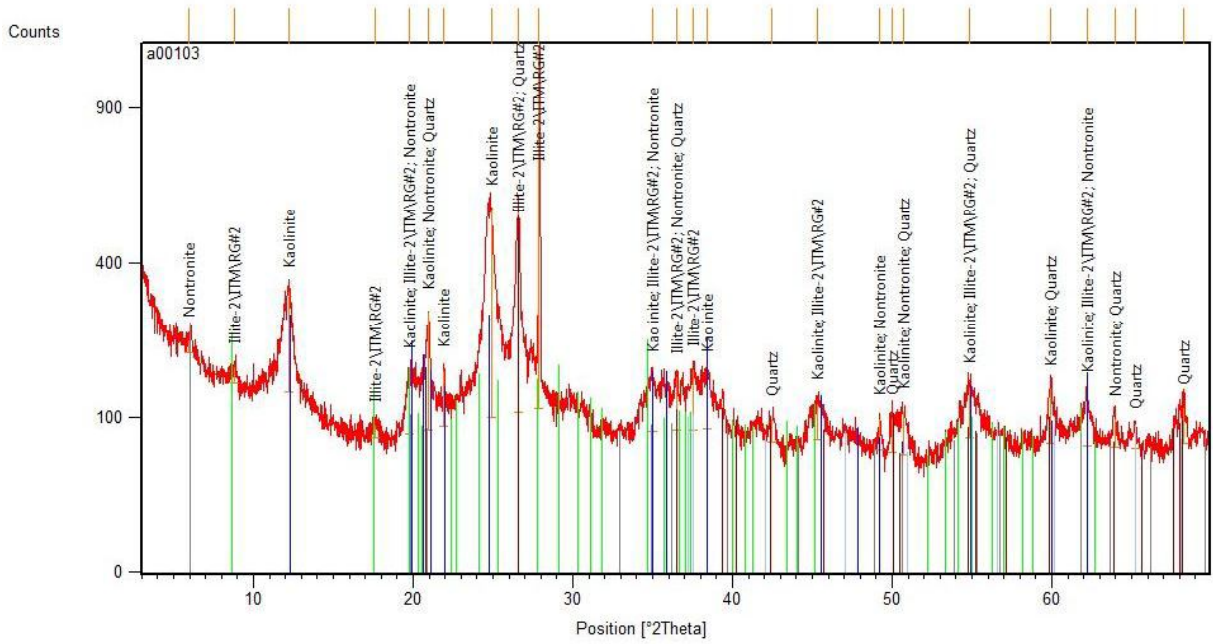


Figura 35: Difratoograma da Amostra A2 – Área 1(Jucás)

As amostras da área 2 (Crato) apresentaram resultados bem distintos se comparada a análise das amostras da área 1. Isto se deve ao caráter deposicional das mesmas que se deu em períodos e ambientes deposicionais diferentes, o que levou a formação de materiais heterogêneos estratificados em camadas sedimentares sobrepostas, conforme já mencionado anteriormente.

Desta forma evidenciou-se no difratograma da amostra B1 na fração argila a presença de ilita e caulinita, bem como a incidência de quartzo (Figura 36).

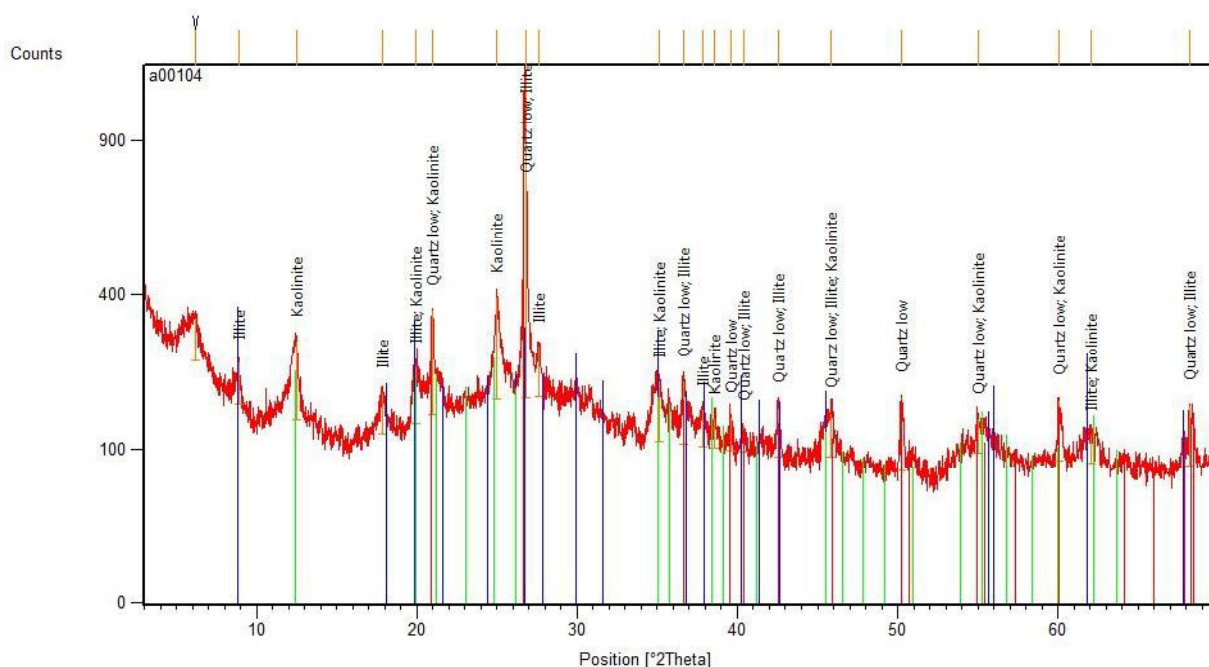


Figura 36: Difratograma da Amostra B1 – Área 2(Crato)

Já na amostra B2 é possível observar a existência na fração argila de ilita, montmorilonita e muscovita além de uma acentuada presença de quartzo. Explicando os teores de SiO₂ e K₂O obtidos na análise química (Tabela 14).

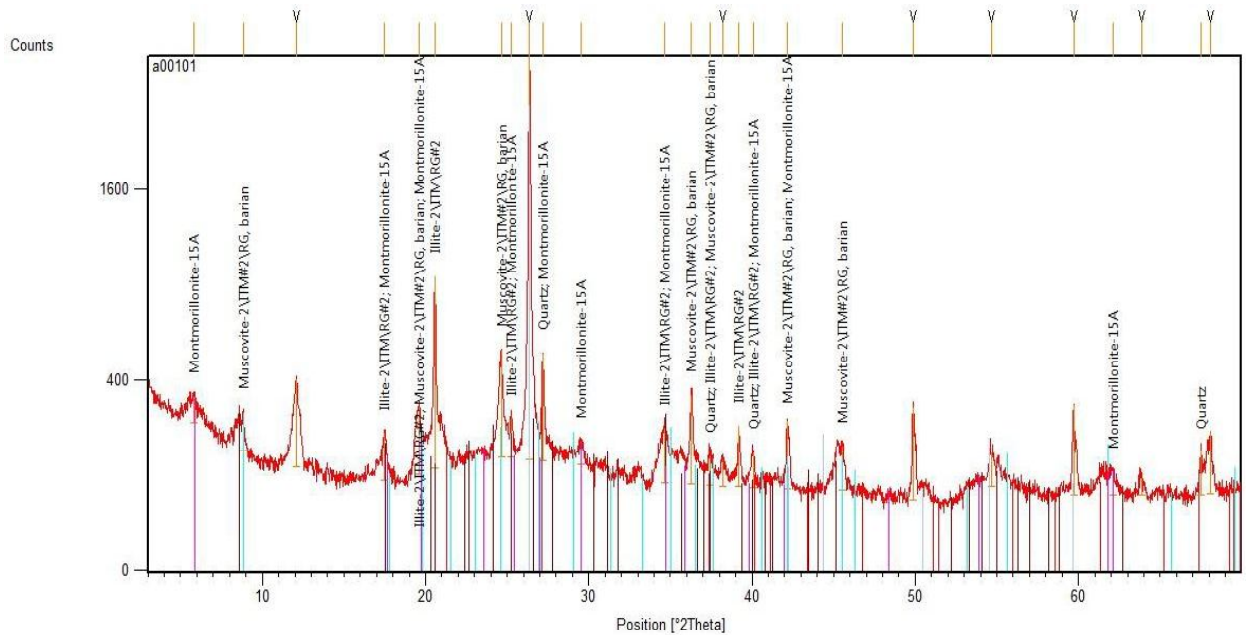


Figura 37: Difratoograma da Amostra B2 – Área 2(Crato)

Tabela 15 - Composição Mineralógica das amostras com base nos resultados da difração de raio X.

Área	Amostra	Minerais Presentes
1 – Jucás	A1	Ilita e Caulinita
	A2	Ilita, Caulinita, Nontronita e Quartzo
2 – Crato	B1	Ilita, caulinita e quartzo
	B2	Ilita, montmorillonita, muscovita e quartzo

Elaborado pelo autor

CAPÍTULO 05 - CONCLUSÃO

5 Conclusão

Com base nos resultados dos ensaios físicos e análises químicas e mineralógicas realizados é possível determinar uma melhor aplicação dos materiais no processo de produção de peças cerâmicas.

Para tanto pode-se concluir que:

Considerando as características, granulométricas, plásticas e sua composição mineral e orgânica bem como seu comportamento em relação ao tratamento térmico os materiais utilizados na área 1 (Jucás) deste estudo são mais adequados para produção de blocos de vedação sem fins estruturais.

Em relação ao melhor patamar de temperatura de queima para a produção de blocos cerâmicos da área 1 (Jucás) tem-se o valor de 800°C tendo em vista a retração linear de 19,54mm, perda de massa de 11,55% e o índice de absorção de água de 9,7 para o corpo de prova CpA produzido a partir do traço 2 porções da amostra A2 para 1 porção da amostra A1. Desta forma propõe-se a utilização de um traço menos plástico para tentar diminuir a retração linear, e realizar um melhor sazionamento da massa a ser utilizada na produção afim de reduzir a quantidade de matéria orgânica presente o que possibilitaria uma menor perda de massa e menor índice de absorção de água. O traço proposto seria de 3 porções da amostra A2 para 1 porção de amostra A1.

As argilas presentes na área 1 (Jucás) definidas pela análise do difratograma mostram a presença de illita e caulinita que são argilominerais indicados para uso em cerâmica vermelha.

Para a área 2 deste estudo pode-se afirma que os materiais presentes propiciam um uso mais nobre em relação ao tipo de produto cerâmico, pois é possível produzir telhas prensadas que detém maior valor agregado.

Isto é possível devido os resultados de índice de plasticidade para a atual proporção utilizada na indústria cerâmica desta área que ficou abaixo de 26% e acima de 18%, faixa ideal para a produção de telhas cerâmicas. Mas não apenas o índice de plasticidade determinou esta conclusão, a diferenciação granulométrica entre as amostras B1 e B2 utilizadas na produção possibilitam um melhor grau de empacotamento que torna o produto final mais coeso e com um índice de absorção de

água menor, aumentando a impermeabilidade do produto final. Além disso o bom desempenho apresentado na perda de massa ao forno, abaixo de 10%, e na retração linear, abaixo de 8,0mm, possibilita a queima em temperaturas maiores que tornam o produto mais impermeável e com melhor aparência visual devido ao aspecto esmaltado que a peça passa a ter.

Considerando estas possibilidades propõe-se um patamar de temperatura de queima de 900°C e a utilização do traço praticado atualmente que é de 2 porções da amostra B2 para 1 porção da amostra B1.

CAPITULO 06 - BIBLIOGRAFIA

6 Bibliografia

ASSINE, M.L. 1990. Sedimentação e Tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Rio Claro. 124 p. (Dissertação de Mestrado, IGCE/UNESP).

ASSIS JR., F., 1999, Física do Solo. Depto Ciências do Solo, Centro de Ciências Agrárias, UFC, Fortaleza, Apostila, 15p.

BRITO NEVES, B.B. - 1990 - A bacia do Araripe no contexto geotectônico regional. Anais do I Simpósio sobre a Bacia do Araripe e bacias interiores do Brasil, Atas, 21-33.

CARVALHO, I. S. As pegadas de dinossauros da bacia de Uiraúna-rejo das Freiras (Cretáceo Inferior, Estado da Paraíba). In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 4 *Boletim...Águas de São Pedro, SP*, 115-121, 1996.

COELHO, C.; ROQUEIRO, N.; HOTZA, D. Rational Mineralogical Analysis of Ceramics. **Material Letters**, v. 52, n. 6 p. 394 – 398, 2002.

CORDANI, U.G., B.B. Brito Neves, R.A. Fuck, R. Porto, A.T. Filho, & F.M.B. Cunha, 1984. Estudo preliminar de integração do Pré-cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. Revista Ciência Técnica Petróleo, Rep. 15, 70pp., PETROBRÁS, CENPES, Rio de Janeiro, Brasil.

DAS CHAGAS, D.B., Assine, M. L., Freitas, F. I. , Facies Sedimentares e Ambientes Depositionais da Formação Barbalha no Vale do Cariri, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil, *Geociência*, Vol. 26 N°4 (2007).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solo, 1997. v. 2.

FACINCANI, E. Tecnologia cerâmica estrutural, Tradução de Jaime Pedrassani. São Paulo, Faenza, 2002, 276 p.

GOMES, C.S.F., 2002, Argilas – Aplicações na Indústria. O Liberal Artes Gráficas Editora, 337p.

GOMES, C. F. and Silva, J., “*Estudo das propriedades físicas e químicas da areia da praia da ilha do Porto Santo, tendo em consideração o seu uso para fins terapêuticos*”, (1996), 35 p.

LIMA, R.H.C., Preparação e Controle de Massas para o APL de Cerâmica Vermelha de Russas – Ceará, Banco do Nordeste do Brasil, 2010.

MATOS, R.M.D. 1987. Sistema de rifts cretáceos do nordeste brasileiro. Seminário de tectônica da Petrobrás, 1, Rio de Janeiro, Anais, Petrobrás: 126-159.

NOGUEIRA, N.A.S., Sinterização de Nanopartículas de NiAl_2O_4 por Gelatina Comestível – Fortaleza, 2005, 21p.

OLIVEIRA, J.V.G. de. A Humanização da arte: temas e controvérsias na filosofia. Rio de Janeiro: Pinakothek, 2006.

PARAHYBA, R.E.R., Cavalcante, V.M.M., & Medeiros, M.F., 2001, TECMO – Tecnologia em Cerâmica – Ações Para Modernidade e Competitividade. SINDCERÂMICA /CPRM/DNPM, Relatório Preliminar das Atividades: 11, 12, 13, 14 e 15, Fortaleza, 34p.

PESSOA, J.M.A.P., Tecnologias e técnicas apropriadas para o desenvolvimento sustentável: O caso da indústria cerâmica de Russas-Ce, dissertação de mestrado, Prodema – UFC, 2004, 29p

PONTE, F.C. & Appi, C.J. 1990. Proposta de Revisão da coluna Estratigráfica da Bacia do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990. Anais, Natal, SBP, p. 211-226.

PONTE, F.C., Dino, R., Arai, M., Silva-Telles Jr, A. C. 1990. Geologia das bacias sedimentares do Iguatú, no Estado do Ceará. PETROBRÁS-CENPES-DIVEX-SEBIPE (relatório interno). 27p.

Programa de Apoio à Competitividade das Micro e Pequenas Indústrias (PROCOMPI), 2005, Arranjo Produtivo Local (APL) – Cerâmica de Russas. IEL, CENTEC, SEBRAE, Relatório de Atividades, 23p.

ROMAN, H. & Bonin, L.C., 2003, Coletânea Habitare: Normalização e Certificação na Construção Habitacional.

SANTOS EJ, COUTINHO MGN, COSTA MPA & RAMALHO R. 1984. A região de dobramentos Nordeste e a bacia do Parnaíba, incluindo o Cráton de São Luís e as bacias marginais. In: SCHOBENHAUS C, CAMPOS DA, DERZE GR & ASMUS HE (Eds.). Geologia do Brasil. DNPM,5, Brasília, p. 131-189.

SOUZA SANTOS, P., 1989, Ciência e Tecnologia de Argilas. 2 ed. Edgar Blucher/EDUSP, São Paulo, 3: 590p.

SOUZA, G.P., Sousa, S.J.G., Terrones, A.H. & Holanda, J.N.F., 2005, Análise mineralógica de argilas sedimentares brasileiras usadas em cerâmica vermelha. Cerâmica, 51: 381-386.

SUGUIU, K., 1973, Introdução a sedimentologia. São Paulo: Edgar Blucher/EDUSP, 318p.

VERÍSSIMO, L.S., Medeiros, M.F., Souza, J.F. & Andrade, F.T.B., 1996, Avaliação das Potencialidades Hídrica e Mineral do Médio-Baixo Jaguaribe. CPRM/REFO, Fortaleza, 89p.

VIEIRA, C.M.F., Monteiro, S.N. & Duailibi Filho, J., 2005, Considerações sobre o uso da granulometria como parâmetro de controle de uma **argila** sedimentar. Cerâmica Industrial, 10(1): 23-26.

ANEXOS

Testes Granulométricos

Classificação granulométrica da amostra B1

Amostra B1		
Nº	Diâmetro (mm)	Peso residual (grama)
1	> 0,105	33,28
2	> 0,074	6,58
3	> 0,044	4,06
4	> 0,037	2,23
5	> 0,025	5,92
6	< 0,025	47,93
Classificação de acordo com o triângulo textural: Argila		
Resíduo da 325 (%)		43,92

Elaborado pelo autor

Classificação granulométrica da amostra B2

Amostra B2		
Nº	Diâmetro (mm)	Peso residual (grama)
1	> 0,105	37,86
2	> 0,074	7,42
3	> 0,044	9,37
4	> 0,037	5,28
5	> 0,025	2,29
6	< 0,025	37,78
Classificação de acordo com o triângulo textural: Argilo-arenosa		
Resíduo da 325 (%)		54,65

Elaborado pelo autor

Classificação granulométrica da amostra A2

Amostra A2		
Nº	Diâmetro (mm)	Peso residual (grama)
1	> 0,105	42,14
2	> 0,074	14,49
3	> 0,044	1,94
4	> 0,037	7,44
5	> 0,025	3,44
6	< 0,025	30,65
Classificação de acordo com o triângulo textural: Franco-argiloso		
Resíduo da 325 (%)		58,57

Elaborado pelo autor

Classificação granulométrica da amostra A1

Amostra A1		
Nº	Diâmetro (mm)	Peso residual (grama)
1	> 0,105	31,3
2	> 0,074	13,93
3	> 0,044	5,52
4	> 0,037	2,46
5	> 0,025	4,54
6	< 0,025	42,25
Classificação de acordo com o triângulo textural: Argilo-arenoso		
Resíduo da 325 (%)		50,75

Elaborado pelo autor

Limite de Plasticidade, Liquidez e Índice de Plasticidade

Índice de Plasticidade

Amostras		LI	Lp	Ip
Grupo 1	A1	58,8	25,6	33,2
	A2	52,2	27,5	24,7
	A3	55,6	26,7	28,9
Grupo 2	B1	52,6	20,5	32,1
	B2	41,3	22,7	18,6
	B3	47,1	21,8	25,3

Perda de Massa ao Fogo - PMF

PMF da Área 1 – 800°C

RESULTADOS INDIVIDUAIS			
N.º	MASSA SECA(g)	MASSA SINTERIZADA (g)	PERDA DE MASSA (%)
1.1	283,6	253,0	10,8
1.2	312,6	277,0	11,4
1.3	320,7	280,0	12,7
1.4	327,0	287,0	12,2
1.5	310,0	275,0	11,2
1.6	309,9	275,0	11,0

RESULTADOS			
Temperatura de queima: 800°C		Incerteza(U) (+ / -)	k
N.º DE CPS:	06		
MÉDIA:	11,55%	0,1%	2,5

PMF da Área 2 – 800°C

RESULTADOS INDIVIDUAIS			
N.º	MASSA SECA(g)	MASSA SINTERIZADA (g)	PERDA DE MASSA (%)
2.1	256,5	234,0	8,8
2.2	252,0	231,0	8,3
2.3	255,0	236,0	7,4
2.4	257,0	233,0	9,3
2.5	254,5	233,0	8,4
2.6	256,5	233,0	9,2

RESULTADOS			
Temperatura de queima: 800°C		Incerteza(U) (+ / -)	k
N.º DE CPS:	06		
MÉDIA:	8,56%	0,1%	2,5

PMF da Área 1 – 900°C

RESULTADOS INDIVIDUAIS			
N.º	MASSA SECA(g)	MASSA SINTERIZADA (g)	PERDA DE MASSA (%)
1.1	283,6	252,5	10,9
1.2	312,6	276,8	11,45
1.3	320,7	279,8	12,75
1.4	327,0	286,8	12,3
1.5	310,0	274,9	11,3
1.6	309,9	274,8	11,3

RESULTADOS			
Temperatura de queima: 900°C		Incerteza(U) (+ / -)	k
N.º DE CPS:	06		
MÉDIA:	11,67%	0,1%	2,5

PMF da Área 2 – 900°C

RESULTADOS INDIVIDUAIS			
N.º	MASSA SECA(g)	MASSA SINTERIZADA (g)	PERDA DE MASSA (%)
2.1	256,5	233,0	9,2
2.2	252,0	230,5	8,5
2.3	255,0	235,0	7,8
2.4	257,0	232,5	9,5
2.5	254,5	232,0	8,8
2.6	256,5	232,5	9,35

RESULTADOS			
Temperatura de queima: 900°C		Incerteza(U) (+ / -)	k
N.º DE CPS:	06		
MÉDIA:	8,85%	0,1%	2,5

PMF da Área 1 (1.100°C)

RESULTADOS INDIVIDUAIS			
N.º	MASSA SECA(g)	MASSA SINTERIZADA (g)	PERDA DE MASSA (%)
1.1	283,6	250,5	11,7
1.2	312,6	274,5	12,2
1.3	320,7	277,5	13,5
1.4	327,0	285,5	12,3
1.5	310,0	272,8	12,7
1.6	309,9	273,0	11,9

RESULTADOS			
Temperatura de queima: 1.100°C		Incerteza(U) (+ / -)	k
N.º DE CPS:	06		
MÉDIA:	12,4%	0,1%	2,5

PMF da Área 2 (1.100°C)

RESULTADOS INDIVIDUAIS			
N.º	MASSA SECA(g)	MASSA SINTERIZADA (g)	PERDA DE MASSA (%)
2.1	256,5	232,5	9,35
2.2	252,0	229,5	8,9
2.3	255,0	234,5	8,0
2.4	257,0	231,5	9,9
2.5	254,5	231,5	9,0
2.6	256,5	232,0	9,55

RESULTADOS			
Temperatura de queima: 1.100°C		Incerteza(U) (+ / -)	k
N.º DE CPS:	06		
MÉDIA:	9,1%	0,1%	2,5

PMF da Área 1 (1.250°C)

RESULTADOS INDIVIDUAIS			
N.º	MASSA SECA(g)	MASSA SINTERIZADA (g)	PERDA DE MASSA (%)
1.1	283,6	250,0	11,8
1.2	312,6	275,0	12,0
1.3	320,7	277,5	13,5
1.4	327,0	284,0	13,1
1.5	310,0	272,5	12,1
1.6	309,9	271,8	12,3

RESULTADOS			
Temperatura de queima: 1.250°C		Incerteza(U) (+ / -)	K
N.º DE CPS:	06		
MÉDIA:	12,47%	0,1%	2,5

PMF da Área 2 (1.250°C)

RESULTADOS INDIVIDUAIS			
N.º	MASSA SECA(g)	MASSA SINTERIZADA (g)	PERDA DE MASSA (%)
2.1	256,5	232,0	9,55
2.2	252,0	229,5	8,9
2.3	255,0	234,5	8,0
2.4	257,0	232,0	9,7
2.5	254,5	231,2	9,15
2.6	256,5	231,8	9,6

RESULTADOS			
Temperatura de queima: 1.250°C		Incerteza(U) (+ / -)	k
N.º DE CPS:	06		
MÉDIA:	9,15%	0,1%	2,5

Perda de Massa Média a 800°C

N° DE CPS: 06	
Média de CpA	Média de CpB
11,55%	8,6%
Maior Retração	Menor Retração

Perda de Massa Média a 900°C

N° DE CPS: 06	
Média de CpA	Média de CpB
11,67%	8,85%
Maior Retração	Menor Retração

Perda de Massa Média 1.100°C

N° DE CPS: 06	
Média de CpA	Média de CpB
12,4%	9,1%
Maior Retração	Menor Retração

Perda de Massa Média a 1.250° C

N° DE CPS: 06	
Média de CpA	Média de CpB
12,47%	9,15%
Maior Retração	Menor Retração

Retração Linear

Dimensões Pré-queima CpA

RESULTADOS INDIVIDUAIS Pré-queima			
N.º	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)
1.1	44,0	106,5	45,0
1.2	44,0	106,0	45,5
1.3	44,5	106,5	44,5
1.4	45,0	107,0	46,0
1.5	44,8	107,0	44,5
1.6	44,5	106,2	44,5

Dimensões Pós-queima CpA

RESULTADOS INDIVIDUAIS Pós-queima			
N.º	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)
1.1	42,8	102,5	43,0
1.2	42,8	103,0	43,0
1.3	43,0	102,0	42,5
1.4	42,0	101,8	43,0
1.5	42,5	103,5	40,5
1.6	42,0	101,6	41,8

Retração Linear das amostras CpA à 900°C

RESULTADOS INDIVIDUAIS CpA Diferenças			
N.º	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)
1	1,2	4,0	2,0
2	1,2	3,0	1,5
3	1,5	4,5	2,0
4	2,0	5,2	3,0
5	2,8	3,5	4,0
6	2,5	4,6	2,7
Médias	1,87	4,13	2,53

Dimensões Pré-queima CpB

RESULTADOS INDIVIDUAIS			
Pré-queima			
N.º	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)
1	44,5	107,2	45,0
2	44,0	107,5	45,5
3	44,5	107,5	45,5
4	45,8	107,0	46,0
5	46,0	106,5	45,8
6	46,5	106,2	46,2

Elaborado pelo autor

Dimensões Pós-queima CpB

RESULTADOS INDIVIDUAIS			
Pós-queima			
N.º	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)
1	43,8	104,5	44,0
2	43,5	104,0	43,0
3	43,5	104,0	43,5
4	44,5	103,8	44,0
5	44,8	103,5	43,5
6	45,0	103,0	44,8

Elaborado pelo autor

Retração Linear das amostras CpB à 900°C

RESULTADOS INDIVIDUAIS			
Diferenças			
N.º	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)
1	0,7	2,7	1,0
2	0,5	3,5	2,5
3	1,0	3,5	2,0
4	1,3	3,2	2,0
5	1,2	3,0	2,3
6	1,5	2,8	1,4
Médias	1,03	3,12	1,87

Elaborado pelo autor

Dimensional

Dimensões do lote coletado na empresa da área 1

MEDIDAS INDIVIDUAIS				FIGURA ESQUEMÁTICA
Nº CP	Largura (L) (mm)	Altura (H) (mm)	Comprimento (C) (mm)	
	Média mm	Média mm	Média mm	
1	92,00	189,5	186,0	
2	92,00	191,5	186,5	
3	93,00	192,0	187,5	
4	92,00	189,5	183,5	
5	93,00	188,0	184,5	
6	93,00	191,0	186,0	
7	93,50	191,5	188,0	
8	93,50	192,0	187,5	
9	92,00	190,0	185,0	
10	93,00	191,0	187,0	
11	93,50	193,5	187,0	
12	93,50	190,0	185,0	
13	90,50	188,5	194,0	

Fonte: Laboratório de Cerâmica Vermelha do SENAI-Ce

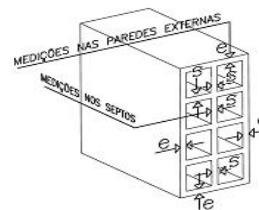
Dimensões do lote coletado na empresa da área 2

MEDIDAS INDIVIDUAIS				FIGURA ESQUEMÁTICA
Nº CP	Largura (L) (mm)	Altura (H) (mm)	Comprimento (C) (mm)	
	Média mm	Média mm	Média mm	
1	90,00	188,5	198,0	
2	89,50	187,5	195,5	
3	89,00	188,0	197,5	
4	90,50	187,5	199,0	
5	88,50	186,5	196,0	
6	90,00	188,5	198,5	
7	89,00	187,5	197,5	
8	89,00	186,0	196,5	
9	90,00	190,0	202,0	
10	89,00	189,0	198,5	
11	88,50	186,5	198,0	
12	89,00	189,5	198,5	
13	89,00	185,5	196,5	

Fonte: Laboratório de Cerâmica Vermelha do SENAI-Ce

Espessura das Paredes e Séptos das amostras da empresa da área 1:

ESPESSURA DAS PAREDES E SÉPTOS				POSIÇÕES ESQUEMÁTICAS PARA AS MEDIÇÕES DA ESPESSURA DAS PAREDES EXTERNAS E SÉPTOS
PAREDES EXTERNAS		SÉPTOS		
Nº CP	MEDIDA INDIVIDUAL	Nº CP	MEDIDA INDIVIDUAL	
1	7,8	1	6,6	
2	6,3	2	6,1	
3	6,9	3	5,6	
4	6,6	4	6,4	
5	7,2	5	5,9	
6	7,1	6	6,2	
7	6,3	7	6,4	
8	7,3	8	6,0	
9	8,7	9	6,1	
10	7,1	10	5,4	
11	7,5	11	6,0	
12	7,3	12	6,5	
13	6,8	13	6,8	

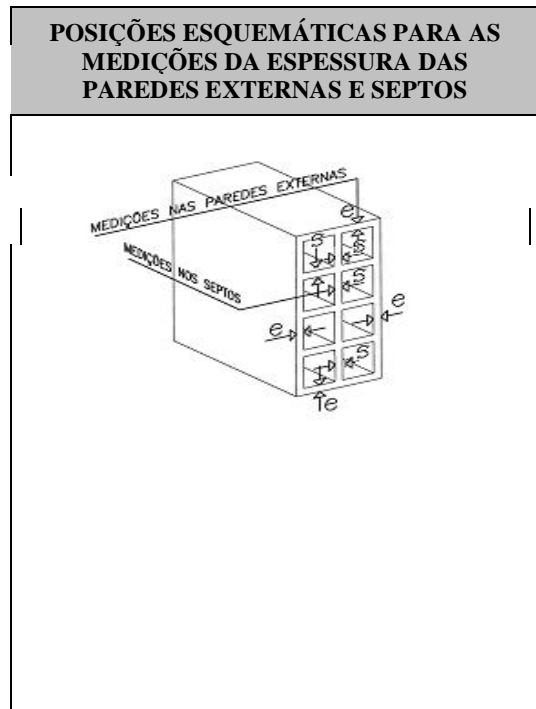


RESULTADOS		
		INCERTEZA(U) (+ / -)
Média paredes externas	7,1 mm	0,1 mm
Média séptos	6,2 mm	0,2mm

Fonte: Laboratório de Cerâmica Vermelha do SENAI-Ce

Espessura das Paredes e Séptos das amostras da empresa da área 2:

ESPESSURA DAS PAREDES E SÉPTOS			
PAREDES EXTERNAS		SEPTOS	
Nº CP	MEDIDA INDIVIDUAL	Nº CP	MEDIDA INDIVIDUAL
1	6,2	1	6,1
2	5,9	2	6,7
3	6,1	3	6,0
4	5,6	4	6,3
5	5,3	5	5,9
6	6,0	6	5,6
7	6,1	7	6,3
8	5,4	8	6,4
9	5,8	9	6,5
10	6,2	10	6,0
11	5,5	11	6,1
12	6,1	12	6,4
13	5,8	13	6,1

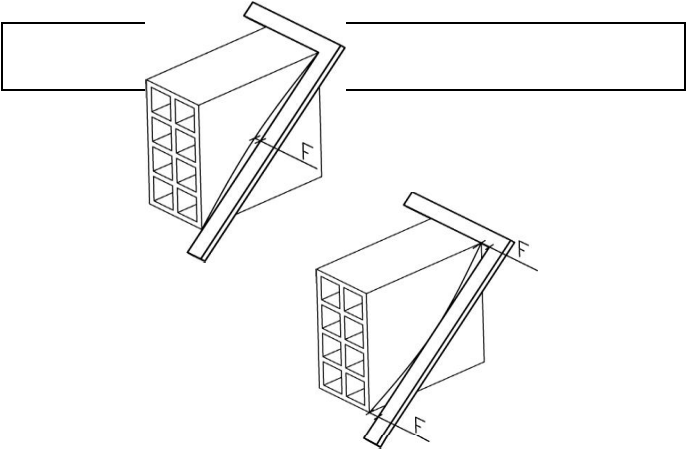


RESULTADOS		
		INCERTEZA(U) (+ / -)
Média paredes externas	5,8 mm	0,1 Mm
Média séptos	6,2 mm	0,1 Mm

Fonte: Laboratório de Cerâmica Vermelha do SENAI-Ce

Planeza das Faces

Planeza das faces das amostras do lote coletado na empresa da área 1

RESULTADOS INDIVIDUAIS		
Nº CP	MEDIDA INDIVIDUAL	PLANEZA DAS FACES (REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA)
1	5,3	
2	2,4	
3	2,6	
4	4,3	
5	1,7	
6	5,3	
7	2,0	
8	4,9	
9	2,0	
10	3,9	
11	4,1	
12	4,1	
13	4,4	
RESULTADOS		
	Média total blocos	INCERTEZA(U) (+ / -)
	3,6 mm	1,0 mm

Fonte: Laboratório de Cerâmica Vermelha do SENAI-Ce

Planeza das faces das amostras do lote coletado na empresa da área 2

RESULTADOS INDIVIDUAIS		
Nº CP	MEDIDA INDIVIDUAL	PLANEZA DAS FACES (REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA)
1	2,2	
2	2,0	
3	1,5	
4	1,4	
5	1,9	
6	1,8	
7	2,0	
8	1,4	
9	1,7	
10	1,0	
11	1,6	
12	1,6	
13	1,7	
RESULTADOS		
	Média total blocos	INCERTEZA(U) (+ / -)
	1,7 mm	0,2 mm

Fonte: Laboratório de Cerâmica Vermelha do SENAI-Ce

Resistência a Compressão

Resistência a compressão das amostras do lote da empresa da área 1

N.º	Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Força (Kgf)	Tensão (MPa)
1	92,0	189,5	186,0	2612,7	1,5
2	92,0	191,5	186,5	3814,07	2,2
3	93,0	192,0	187,5	2624,36	1,5
4	92,0	189,5	183,5	2752,67	1,6
5	93,0	188,0	184,5	3265,87	1,9
6	93,0	191,0	186,0	1201,38	0,7
7	93,5	191,5	188,0	3615,79	2,0
8	93,5	192,0	187,5	11640,51	6,5
9	92,0	190,0	185,0	7663,14	4,4
10	93,0	191,0	187,0	4793,84	2,7
11	93,5	193,5	187,0	2985,94	1,7
12	93,5	190,0	185,0	4863,82	2,8
13	90,5	188,5	194,0	3907,39	2,2
RESULTADOS					
N.º DE CPS:				13	92,7
MÉDIA (Mpa):				2,4	Altura(mm): 190,6
DESVIO PADRÃO (Mpa):				1,5	Comprim.(mm): 186,7
COEF. DE VARIAÇÃO (%):				62,3	Área (cm²): 173,0

Fonte: Laboratório de Cerâmica Vermelha do SENAI-Ce

Resistência a compressão das amostras do lote da empresa da área 2

N.º	Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)	N.º	Força (Kgf)	Tensão (MPa)
1	90,0	188,5	198,0	1	4081,4	2,2
2	89,5	187,5	195,5	2	4946,11	2,8
3	89,0	188,0	197,5	3	5499,52	3,1
4	90,5	187,5	199,0	4	4358,11	2,4
5	88,5	186,5	196,0	5	1591,06	0,9
6	90,0	188,5	198,5	6	4265,87	2,3
7	89,0	187,5	197,5	7	5545,64	3,1
8	89,0	186,0	196,5	8	5683,99	3,2
9	90,0	190,0	202,0	9	7620,93	4,1
10	89,0	189,0	198,5	10	3297,41	1,8
11	88,5	186,5	198,0	11	5338,11	3,0
12	89,0	189,5	198,5	12	5211,28	2,9
13	89,0	185,5	196,5	13	5384,23	3,0
RESULTADOS						
N.º DE CPS:				13	Largura(mm): 89,3	
MÉDIA (Mpa):				2,7	Altura(mm): 187,7	
DESVIO PADRÃO (Mpa):				0,8	Comprim.(mm): 197,8	
COEF. DE VARIAÇÃO (%):				28,9	Área (cm²): 176,7	

Fonte: Laboratório de Cerâmica Vermelha do SENAI-Ce

Absorção de Água

Índice de absorção de água das amostras do lote da empresa da área 1

RESULTADOS INDIVIDUAIS			
N.º	MASSA SINTERIZADA (g)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)
1	253,0	276,0	9,1
2	251,0	277,0	10,4
3	253,0	280,0	10,7
4	261,0	287,0	10,0
5	254,0	275,0	8,3
6	250,0	275,0	10,0

RESULTADOS	
	Incerteza(U) (+ / -)
N.º DE CPS:	06
MÉDIA:	9,7%
	0,1%

Fonte: Laboratório de Cerâmica Vermelha do SENAI-Ce

Índice de absorção de água das amostras do lote da empresa da área 2

RESULTADOS INDIVIDUAIS			
N.º	MASSA SINTERIZADA (g)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)
1	234,0	256,0	9,4
2	231,0	249,0	7,8
3	236,0	255,0	8,1
4	233,0	255,0	9,4
5	233,0	248,0	6,4
6	233,0	257,0	10,3

RESULTADOS	
	Incerteza(U) (+ / -)
N.º DE CPS:	06
MÉDIA:	8,6%
	0,1%

Fonte: Laboratório de Cerâmica Vermelha do SENAI-Ce

Resultados Fluorescência de Raio X – (FRX)

AMOSTRA: A1								
Oxido	Valor %	Valor Molecular	Peso do Oxigênio	Grau de Equivalencia do Cation	Fator de Proporção	Grau de equivalência por unidade celular	Valência do Cation	Cations por Unidade Celular
SiO2	53,4551	60,06	4	3,5601	7,457973329	26,5512	2	13,28
Al2O3	28,0289	101,94	6	1,6497	7,457973329	12,3036	3	4,10
TiO2	1,5267	79,9	4	0,0764	7,457973329	0,5700	2	0,29
Fe2O3	10,0684	159,7	6	0,3783	7,457973329	2,8212	5	0,56
MgO	1,9896	40,32	2	0,0987	7,457973329	0,7360	6	0,12
MnO	0,0799	40,32	2	0,0040	7,457973329	0,0296	2	0,01
ZnO	0,0394	81,37	2	0,0010	7,457973329	0,0072	1	0,01
CaO	0,9645	56,08	2	0,0344	7,457973329	0,2565	2	0,13
Na2O	0,297	60	2	0,0099	7,457973329	0,0738	4	0,02
K2O	3,1948	94,19	2	0,0678	7,457973329	0,5059	2	0,25
SO3	0,0544	80,06	6	0,0041	7,457973329	0,0304	3	0,01
P2O5	0,2179	142	10	0,0153	7,457973329	0,1144	2	0,06
SOMA	99,9166			5,8997				
K0,25Ca0,13Mn0,01Mg0,12Fe0,56Ti0,29Al4,1Si13,28O20(OH)4								

AMOSTRA: A2								
Oxido	Valor %	Valor Molecular	Peso do Oxigênio	Grau de Equivalencia do Cation	Fator de Proporção	Grau de equivalência por unidade celular	Valência do Cation	Cations por Unidade Celular
SiO2	53,2948	60,06	4	3,5494	7,487575864	26,5767	2	13,29
Al2O3	27,5412	101,94	6	1,6210	7,487575864	12,1375	3	4,05
TiO2	1,3475	79,9	4	0,0675	7,487575864	0,5051	2	0,25
Fe2O3	10,6641	159,7	6	0,4007	7,487575864	2,9999	5	0,60
MgO	2,2412	40,32	2	0,1112	7,487575864	0,8324	6	0,14
MnO	0,0589	40,32	2	0,0029	7,487575864	0,0219	2	0,01
ZnO	0,0263	81,37	2	0,0006	7,487575864	0,0048	1	0,00
CaO	1,1289	56,08	2	0,0403	7,487575864	0,3015	2	0,15
Na2O	0,3575	60	2	0,0119	7,487575864	0,0892	4	0,02
K2O	3,3395	94,19	2	0,0709	7,487575864	0,5309	2	0,27
SO3	0	80,06	6	0,0000	7,487575864	0,0000	3	0,00
P2O5	0	142	10	0,0000	7,487575864	0,0000	2	0,00
SOMA	99,9999			5,8764				
K0,27Ca0,15Mn0,01Mg0,14Fe0,6Ti0,25Al4,05Si13,29O20(OH)4								

AMOSTRA: B1								
Oxido	Valor %	Valor Molecular	Peso do Oxigênio	Grau de Equivalencia do Cation	Fator de Proporção	Grau de equivalência por unidade celular	Valência do Cation	Cations por Unidade Celular
SiO2	57,4829	60,06	4	3,8284	7,445351752	28,5035	4	7,13
Al2O3	23,5628	101,94	6	1,3869	7,445351752	10,3257	3	3,44
TiO2	1,4282	79,9	4	0,0715	7,445351752	0,5323	4	0,13
Fe2O3	9,3319	159,7	6	0,3506	7,445351752	2,6104	3	0,87
MgO	2,0834	40,32	2	0,1033	7,445351752	0,7694	2	0,38
MnO	0,108	70,94	2	0,0030	7,445351752	0,0227	2	0,01
ZnO	0	81,37	2	0,0000	7,445351752	0,0000	2	0,00
CaO	1,5161	56,08	2	0,0541	7,445351752	0,4026	2	0,20
Na2O	0,4519	60	2	0,0151	7,445351752	0,1122	1	0,11
K2O	3,8072	94,19	2	0,0808	7,445351752	0,6019	1	0,60
SO3	0	80,06	6	0,0000	7,445351752	0,0000	6	0,00
P2O5	0,2277	142	10	0,0160	7,445351752	0,1194	5	0,02
SOMA	100,0001			5,9097				
K0,61Ca0,20Mn0,01Mg0,38Fe0,87Ti0,13Al3,44Si7,13O20(OH)4								

AMOSTRA: B2								
Oxido	Valor %	Valor Molecular	Peso do Oxigênio	Grau de Equivalencia do Cation	Fator de Proporção	Grau de equivalência por unidade celular	Valência do Cation	Cations por Unidade Celular
SiO2	70,0466	60,06	4	4,6651	7,164943412	33,4252	4	8,36
Al2O3	17,2664	101,94	6	1,0163	7,164943412	7,2815	3	2,43
TiO2	1,2526	79,9	4	0,0627	7,164943412	0,4493	4	0,11
Fe2O3	4,9654	159,7	6	0,1866	7,164943412	1,3366	3	0,45
MgO	2,1322	40,32	2	0,1058	7,164943412	0,7578	2	0,38
MnO	0,1409	70,94	2	0,0040	7,164943412	0,0285	2	0,01
ZnO	0	81,37	2	0,0000	7,164943412	0,0000	2	0,00
CaO	0,4886	56,08	2	0,0174	7,164943412	0,1248	2	0,06
Na2O	0	60	2	0,0000	7,164943412	0,0000	1	0,00
K2O	3,5783	94,19	2	0,0760	7,164943412	0,5444	1	0,54
SO3	0	80,06	6	0,0000	7,164943412	0,0000	6	0,00
P2O5	0,1027	142	10	0,0072	7,164943412	0,0518	5	0,01
SOMA	99,9737			6,1410		44,0000		
K _{0,54} Ca _{0,06} Mn _{0,01} Mg _{0,38} Fe _{0,45} Ti _{0,11} Al _{2,43} Si _{8,36} O ₂₀ (OH) ₄								