



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE
REVESTIMENTOS CERÂMICOS INCORPORADOS COM RESÍDUO DE
QUARTZITO EM PÓ**

FRANCISCO SILVA SOARES

Orientadora: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

Co-orientador: Prof. Dr. José Bezerra da Silva

Campina Grande-PB

DEZEMBRO/2017

FRANCISCO SILVA SOARES

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE
REVESTIMENTOS CERÂMICOS INCORPORADOS COM RESÍDUO DE
QUARTZITO EM PÓ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande-PB

DEZEMBRO/2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

FRANCISCO SILVA SOARES

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS INCORPORADOS COM RESÍDUO DE QUARTZITO EM PÓ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em 21/12/2017
perante a seguinte Comissão Julgadora:

Ana Maria Pinheiro D. Mendonça
Prof. PhD. Ana Maria G. Duarte Mendonça
Orientador
Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

Aprovado

Prof. Dr. José Bezerra da Silva
Coordenador
Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

Aprovado

Gutemberg Gonçalves da Silva
Prof. Msc. Gutemberg Gonçalves da Silva
Examinador Interno
Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal de Campina Grande

Aprovado

João Jorge Leite de Matos Júnior
Prof. Msc. João Jorge de Matos Júnior
Examinador Externo
Departamento de Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Campina Grande

Aprovado

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

FRANCISCO SILVA SOARES

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande como requisito do grau de bacharel em engenharia civil.

Área de habilitação: Materiais.

Orientador (a): PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

Co-orientador: Prof. Dr. José Bezerra da Silva

Campina Grande – PB

DEZEMBRO/2017

*“O sucesso nasce do querer,
da determinação e persistência
em se chegar a um objetivo”*

José de Alencar

DEDICATÓRIA

Dedico essa conquista aos meus pais, principalmente ao meu irmão Pe.Claudeci Silva Soares, essas pessoas que sempre me apoiaram de uma forma incontestável e sempre fazendo o possível para me ajudar. A eles dedico todas as conquistas em minha vida, assim como esta. À Maria das Dores e Francisco de Assis vão os meus mais humildes agradecimentos e a minha mais profunda admiração e consideração.

À minha família como um todo, em especial a minha filha Ana Cecília e a minha esposa Gersica Fonseca Lopes que estão sendo fundamentais nessa caminhada e tiveram grande importância para que eu consiga me tornar engenheiro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a DEUS, pois sem a força dele a mim transmitida nada que aconteceu nesses anos seria possível.

Aos meus familiares em especial meus pais, que me apoiaram e se mostraram interessados no meu crescimento.

Aos meus professores que foram fundamentais para aprendizagem e ganho de conhecimento que tive no decorrer do curso de Engenharia Civil, assim como a todos os outros funcionários, por toda atenção de me ensinar e ajudar a me desenvolver profissionalmente. Em especial ao meu orientadora Dr^a Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça por mim oferecer oportunidades de enriquecimento acadêmico.

A todos os meus amigos e colegas que estiveram comigo durante essa jornada, sofrendo juntos, mas vivendo bons e divertidos momentos destes bons anos. A todos que contribuíram direto e/ou indiretamente para essa realização.

Muito obrigado!

RESUMO

A construção civil é responsável pela transformação do ambiente natural em lugar construído, devido a esse impacto causado no meio ambiente, na economia e na sociedade, é necessário a aplicação de novos conhecimentos para a sustentação do equilíbrio no planeta. A grande abundância de recursos deixados por construções tem preocupado vários países, devido as questões ambientais e de sustentabilidade. Analisando o constante desenvolvimento tecnológico e as necessidades de métodos de produção na área de revestimentos cerâmicos, buscou-se neste trabalho, avaliar formulações de revestimentos cerâmicos com incorporação de resíduo do pó de quartzito para obtenção de revestimentos cerâmicos. O presente trabalho tem como propósito principal estudar a influência do pó de quartzito assim como as propriedades físicas e mecânicas do revestimento cerâmico. Para isso, foram feitas as caracterizações das matérias-primas por fluorescência de Raios-X, difração de Raios-X, análise termodiferencial e termogravimétrica e, elaborando-se formulações (10% e 20% em peso de resíduo de quartzito em pó) que foram queimados a temperaturas de 1000°C e 1200°C. Após a queima, os corpos de prova foram submetidos a ensaios para determinação das propriedades físico-mecânicas, dentre elas: absorção de água e tensão de ruptura a flexão. Verificou-se que os resultados obtidos a tendem aos limites mínimos exigidos para a produção de revestimentos cerâmicos.

Palavras-Chave: Resíduo, Revestimento cerâmico, Rochas ornamentais.

ABSTRACT

Civil construction is responsible for the transformation of the natural environment into a built place, due to this impact on the environment, economy and society, it is necessary to apply new knowledge to sustain the balance on the planet. The great abundance of resources left behind by buildings has worried several countries, due to environmental and sustainability issues. Analyzing the constant technological development and the needs of production methods in the area of ceramic coatings, this work sought to evaluate formulations of ceramic coatings incorporating quartzite powder residue to obtain ceramic coatings. The main purpose of this work is to study the influence of the quartzite powder as well as the physical and mechanical properties of the ceramic coating. For this, the characterization of the raw materials by X-ray fluorescence, X-ray diffraction, thermogravimetric and thermogravimetric analysis was done, and formulations (10% and 20% by weight powder quartzite residue) were made and burned at temperatures of 1000 ° C and 1200 ° C. After the firing, the specimens were submitted to tests to determine the physical-mechanical properties, among them: water absorption and flexural stress. It has been found that the results obtained tend to the minimum limits required for the production of ceramic coatings.

Keywords: Residual, Ceramic coating, Ornamental rocks.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma das etapas do projeto.....	30
Figura 2: Equipamento de análise por Fluorescência de Raios-X	31
Figura 3: Equipamento utilizado para realização de ensaios de análises térmica.....	32
Figura 4: Formulações das massas	33
Figura 5: Queima dos corpos de provas	34
Figura 6: Ensaio de absorção	35
Figura 7: Difratoograma de Raios-X das matérias primas em estudo.....	37
Figura 8: Tensão de ruptura a flexão dos corpos de prova das composições em estudo	38
Figura 9: Absorção de água dos corpos de prova de revestimentos cerâmicos incorporados com resíduo de quartzito nos teores de 10% e 20%	40

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: As placas cerâmicas para revestimento estão agrupadas	20
Tabela 2: Análise química das matérias primas em estudos	36

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AA – Absorção de Água;

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

AG – Análise Granulométrica;

ANFACER – Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica de Revestimento;

CP – Corpo-de-Prova;

DRX – Difração de Raios X;

FRX – Fluorescência de Raios X;

MEA – Massa Específica Aparente;

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura;

MRF – Módulo de Resistência à Flexão;

NBR – Norma Brasileira;

PA – Porosidade Aparente;

Q – Partícula de Quartzito;

TG – Termogravimetria;

TGA – Análise Termogravimétrica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1 Objetivos Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1 Revestimento Cerâmico	18
3.2 Classificação dos revestimentos cerâmicos	20
3.3 Propriedades dos revestimentos cerâmicos	21
3.4 Rochas Ornamentais	21
3.5 Resíduos do setor de rochas de granito e mármore ao meio ambiente	22
3.6 Uso de rejeito para fabricação de revestimento cerâmico	23
3.7 Granito	24
3.8 Feldespato	25
3.9 Quartzo	26
3.10 Quartzitos	26
3.11 Mulita	27
3.12 Porcelanato	28
4. JUSTIFICATIVA	29
5. MATERIAIS E MÉTODOS	30
5.1 Materiais	30
5.2 Métodos	31
5.2.1 Coleta e seleção dos materiais	31
5.2.2 Caracterização química física e mineralógica das matérias-primas	31
5.2.2.1 Caracterização química por fluorescência de raio-X	31
5.2.2.2 Análise granulométrica	32
5.2.2.3 Difração de raio-X	33
5.2.2.4 Análise termodiferencial e termogravimétrica	33

5.2.3	Formulação das massas	33
5.2.4	Conformação dos corpos de prova	33
5.2.5	Etapa de queima dos corpos de prova	34
5.2.6	Determinação das propriedades físicas e mecânicas	34
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	42
7.1	Sugestões para Pesquisas Futuras.....	43
	REFERÊNCIAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

As empresas brasileiras de produção de materiais cerâmicos para construção civil estão se conscientizando da necessidade de evitar o desperdício e promover a reciclagem e o aproveitamento dos resíduos. Isto contribui positivamente para o meio ambiente, reduzindo o impacto ambiental negativo de suas atividades e o uso adequado dos recursos naturais. Com isso, muitas empresas começaram a apresentar soluções para alcançar o desenvolvimento sustentável e, ao mesmo tempo, aumentar a lucratividade de seus negócios.

No Brasil a cerâmica tem assumido um papel importante para a economia do país, com participação no PIB (Produto Interno Bruto) estimado em 1%, correspondente a cerca de 06 bilhões de dólares. Isso se deve à abundância de matérias-primas naturais e de fontes alternativas de energia aliadas a novas tecnologias. De maneira que a união desses fatores fez com que as indústrias brasileiras evoluíssem rapidamente e muitos tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos, principalmente o revestimento, atingissem níveis de qualidade mundial com apreciável quantidade exportada (ABCERAM, 2005).

As empresas cerâmicas procuram sempre ampliar seus produtos e processos, com a finalidade de atender cada vez melhor o mercado consumidor. A busca pelas inovações tecnológicas fortalece a sobrevivência das empresas. O Brasil, hoje, é um grande produtor de revestimento cerâmico. Diariamente a qualidade e diversidade desse material aumentam.

Já há algum tempo se faz presente, em inúmeros setores produtivos, a preocupação com a sustentabilidade, que deve envolver visão ecológica, social e econômica. A utilização de tecnologias apropriadas em construções urbanas, que levem à racionalização dos recursos disponíveis, à diminuição dos custos dos processos construtivos (FERREIRA, 2003).

O setor de revestimento cerâmico do Brasil é constituído por 94 empresas com 117 plantas industriais, instaladas em 18 estados brasileiros,

localizadas principalmente no estado de São Paulo e nas regiões sul e nordeste (ANFACER, 2007).

O Brasil é o 2º maior produtor mundial de cerâmica de revestimento. Em 2011, produziu 844 milhões de m², 12% superior à produção de 2010 de 754 milhões de m², operando com 86% da sua capacidade. Do total produzido, 68% foram de revestimentos para pisos, 19% paredes, 10% porcelanato e 3% para fachadas (ANUÁRIO ESTATÍSTICO, 2012).

A indústria da construção civil consome uma grande quantidade de recursos naturais e os impactos ambientais do setor da construção vão desde o consumo energético de 40%, ao consumo de matérias primas de 50%, e esses impactos evidenciam a necessidade da criação e utilização de materiais que gerem menor impacto ecológico e energético (HERRERA, 2013).

Na maioria das indústrias brasileiras a produção de rochas ornamentais é feita a partir da serragem, em chapas de grandes blocos de pedra, em equipamentos chamados teares. Na serragem, cerca de 25 a 30% do bloco são transformados em pó, que é depositado nos pátios das empresas. No Brasil, a quantidade estimada da geração conjunta do resíduo de corte de mármore e granito é de 240000 toneladas/ano, distribuídas entre São Paulo, Espírito Santo, Bahia, Ceará, Paraíba, entre outros estados (MOURA, 2002).

Ultimamente uma das grandes inquietações mundiais é a problemática da geração dos resíduos sólidos urbanos. Atualmente, obter dados que mostram decréscimo na produção per capita de resíduos são raros, em virtude da crescente demanda da população, a atualização tecnológica, a atual taxa de geração de resíduos, entre outros, inviabiliza que exista um balanceamento ideal entre o consumo e a reciclagem ou reuso desses resíduos.

Além de evitar a necessidade de destinação final em aterro o uso do resíduo de pó de mármore na composição de revestimento cerâmico agrega benefício ambiental, social e econômico. Portanto, este trabalho objetiva apresentar o monitoramento das propriedades físicas e mecânicas de corpos-de-prova que tiveram adicionadas à sua massa cerâmica resíduo de pó de quartzito nas proporções de 20% e 40% em peso, para aferir possível utilização como matéria-prima na indústria cerâmica.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho objetiva demonstrar a viabilidade da utilização do resíduo de quartzito na produção de revestimentos cerâmicos.

2.1.1 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos.

- Caracterizar fisicamente, o resíduo de quartzito;
- Analisar as possibilidades técnicas da utilização do pó de quartzito na produção de revestimento cerâmico para a construção civil;
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas do revestimento cerâmico incorporados com resíduo de quartzito nos teores de 10% e 20%.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Revestimento Cerâmico

O revestimento cerâmico é uma placa de cerâmica obtida da mistura de argila, areia e outras substâncias naturais (feldspatos, filitos, calcita e outros), cozida em temperaturas entre 1000°C e 1250°C, que pode ter formatos e dimensões variáveis.

Os materiais cerâmicos podem ser divididos em nove grupos que levam em conta, sobretudo, o tipo de utilização final (ANFACER, 2013). São eles:

- cerâmica estrutural ou cerâmica vermelha;
- cerâmica branca; cerâmica para revestimento;
- cerâmica refratária;
- isolantes térmicos;
- cimento;
- vidro;
- abrasivos;
- cerâmicas especiais ou de alta tecnologia.

De acordo com a NBR 13816 (1997) a qual entende-se por placas cerâmicas para revestimentos, um material composto de argila e outras matérias prima inorgânicas geralmente utilizadas para revestir pisos e paredes, sendo conformada por extrusão, por prensagem ou outros processos. As placas são secadas e queimadas a temperatura de sinterização, podendo ser esmaltadas ou não esmaltadas.

A indústria de cerâmica para revestimentos utiliza matérias-primas, que são encontradas todas na natureza, constituídas por dois tipos principais: os materiais argilosos e os não argilosos.

Os materiais argilosos utilizados na cerâmica de revestimento apresentam grande variedade de tipos e composições. Geralmente, na produção da massa (barbotina) são utilizadas misturas de diversos tipos e características distintas, que resultam na composição desejada. Já os materiais não argilosos são utilizados em mistura com argilas, quando estas não os

contêm. Servem para formar o esqueleto do corpo cerâmico ou para promover a fusão da massa. Os compostos minerais normalmente utilizados são quartzo, feldspato e calcário (CONSTANTINO, et al., 2006).

Os revestimentos cerâmicos têm suas características determinadas pelos seguintes parâmetros: absorção de água, resistência mecânica e retração linear. Ao esmalte das peças associados outros fatores (resistência à abrasão, resistência ao manchamento e limpabilidade) (CONSTANTINO, et al., 2006).

As principais matérias primas plásticas utilizadas no preparo das massas de revestimentos são argilas plásticas (queima branca ou clara), caulim e argilas fundentes (queima vermelha). Dentre as matérias não plásticas, destacam-se os filitos, fundentes feldspáticos (feldspato, granito, sienito e outros), talco e carbonatos (calcário e dolomita), sendo que o filito e o talco apresentam também características plásticas. O quartzo (material não plástico) geralmente já está incorporado a outras substâncias minerais (argilas, filitos e fundentes feldspáticos) (DANTAS, 2008).

Segundo FRIMAIO (2006), no procedimento produtivo da massa de base (também chamado de suporte cerâmico ou biscoito) dos revestimentos cerâmicos utiliza-se uma grande variedade de matérias-primas (que apresentam significativo grau de impurezas e de variabilidade física, química e mineralógica) compostas por:

- Materiais Argilosos, que dão suficiente plasticidade para se obter uma forma definida São aluminas-silicato hidratados. Contêm alumínio(Al), silício(Si) e traços de cálcio(Ca), ferro(Fe) e titânio(Ti);
- Materiais Fundentes, como feldspatos, feldspatóides e outros, que produzem, por queima, fases vítreas que agem como aglutinante entre as partículas e promovem as reações sólido-sólido. São aluminas-silicato com teores significativos de sódio (Na), potássio(K), alumina(Al) e silício(Si);
- Outros Materiais (inertes) como talco, quartzo, pirofilita, calcários e outros, que servem para obter qualidades particulares resultantes de suas estruturas mineralógicas e composições químicas; possuem principalmente silício(Si), cálcio(Ca), magnésio(Mg);

- Aditivos, principalmente para, melhorar a reologia das suspensões aquosas. Podem ser inorgânicos ou orgânicos, e são introduzidos na massa em pequenas quantidades, geralmente menos de 1%

3.2 Classificação dos revestimentos cerâmicos

De acordo com a NBR 13817 (1997), as placas cerâmicas para revestimento podem ser classificadas segundo os seguintes critérios:

- a) Esmaltadas e não esmaltadas;
- b) Métodos de fabricação:
 - (A) Placas cerâmicas extrusadas;
 - (B) Placas cerâmicas prensadas;
 - (C) Placas cerâmicas produzidas por outros processos;
- c) Grupos de Absorção de água

As placas cerâmicas para revestimento estão agrupadas conforme a tabela 01.

Tabela 01 – Grupos de absorção de água.

Grupos	Absorção de água (%)
Ia	$0 \leq \text{Abs} \leq 0,5$
Ib	$0,5 < \text{Abs} \leq 3,0$
IIa	$3,0 < \text{Abs} \leq 6,0$
IIb	$6,0 < \text{Abs} \leq 10,0$
III	Abs acima de 10,0

Fonte: ABNT 13818/97

- d) Quanto à resistência ao manchamento ou limpabilidade, o que indica a facilidade de remoção de manchas;

- e) Quanto à resistência a abrasão;
- f) Em relação à resistência ao ataque químico;
- g) Análise visual do aspecto superficial;

Cabral (2009) diz que a forma mais usual de se classificar os revestimentos cerâmicos é quanto a absorção de água, pois a absorção de água tem influência direta sobre outras propriedades mecânicas, por exemplo, quanto for menor for a absorção de água da placa cerâmica, maior será sua resistência mecânica.

3.3 Propriedades dos revestimentos cerâmicos

As placas cerâmicas para revestimento apresentam grande diversidade de matérias-primas e, em consequência, uma série de possibilidades de combinações, destacando-se a escolha da massa. A massa cerâmica (ou suporte cerâmico) é uma combinação balanceada de várias matérias-primas que apresenta comportamento adequado em cada uma das etapas do processo de fabricação de forma que o produto final possua as propriedades adequadas para sua devida aplicação (FRIMAIO, 2006).

As propriedades mais procuradas e favoráveis a revestimentos cerâmico sem relação aos seus concorrentes são:

- Durabilidade (excepcional resistência à degradação das placas cerâmicas contra a ação de todos os agentes agressivos ambientais);
- Limpabilidade e facilidade de higienização;
- Impermeabilidade (não porosidade) superficial;
- Inalterabilidade da aparência com o tempo;
- Deficiente conforto tátil.

3.4 Rochas Ornamentais

As Rochas ornamentais e para revestimento são aquelas capazes de ser extraídas de pedreiras sob a forma de blocos ou placas, recortadas em formas diversas e beneficiadas através de esquadrejamento, polimento ou lustro, para emprego como revestimento ou estruturas de edificações pisos, fachadas, paredes, soleiras e colunas, e peças decorativas ou funcionais-tampas e pés de mesa, balcões, pias, divisórias, entre outros (BON, 2006).

Na marmoraria os métodos industriais mais comuns envolvem o corte, polimento e a terminação de produtos de rochas ornamentais como granito, quartzitos, mármore, ardósia, arenitos, entre outras.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS) em 2011 o Brasil foi classificado como o 4º maior produtor e 7º exportador mundial de rochas ornamentais, em volume físico; como 3º maior exportador de blocos de granito e de produtos de ardósia; como 5º maior exportador de rochas processadas especiais, na forma de chapas polidas; e, como 8º exportador de rochas processadas simples, com produtos de quartzito foliado do tipo pedra São Tomé e atualmente, cerca de 10.000 empresas, dentre as quais 400 exportadoras, integram a cadeia produtiva do setor de rochas no Brasil, respondendo por 120 mil empregos diretos e 360 mil indiretos.

O mármore é uma rocha metamórfica derivado do calcário está acoplado da composição de seus minérios pode proporcionar variadas cores como rósea, branca, esverdeada ou preta. Dentre esses minérios está a mica, o feldspato e outros.

Ela recebe o nome de rocha metamórfica porque é formada a partir da transformação físico-química sofrida pelo calcário a altas temperaturas e pressão (MÁRMORE, 2012).

O mármore é usado em decorações, na confecção de objetos ornamentais e esculturas. Na construção civil é aplicado em objetos para uso domiciliar, como pisos, mesas e bancadas para cozinha. Extraído em pedreiras ao ar livre, o mármore é destacado da massa da jazida por meio de serragem com um fio helicoidal sem fim, com um abrasivo e água. Depois de isolado, é fracionado por ferramentas pneumáticas e deslocado por aparelhos de elevação. Em fábricas especializadas, os blocos são cortados em espessuras variadas e depois cinzelados e polidos (MÁRMORE, 2012).

3.5 Resíduos do setor de rochas de granito e mármore e meio ambiente

Com o passar dos anos vem acrescentando cada vez mais preocupante com questões ambiental, sucedendo a ser incorporado em pessoas e na indústria, os seres humano passaram a perceber que a preservação do meio

ambiente é preservação da própria natureza humana, faz parte do que jogamos e produzimos para a natureza e para meio em que vivemos.

Segundo Melo (2006) o setor de rochas ornamentais é responsável por três tipos de resíduo: retalhos de rocha, que é proveniente de sobras e quebras de peças, chegando a alcançar uma perda de 10% a 20%; lama de serrari, que a lama proveniente da serragem de atingir 30% a 40%; lama de marmoraria, formada do processo de recorte, polimento e lustro de peças, confeccionadas a partir das chapas geradas nas serrarias.

Durante o procedimento é gerado uma lama rugosa, que surge devido à água que é utilizada para a refrigeração das máquinas, em conjunto com o pó resultante dos métodos de corte e polimento.

A argila escorre por gravidade para um poço (reservatório) de recolhimento que reaproveita a água através de um sistema que empregando bombas, a água do barro retorna a máquina, mantida em circulação até o término da serrada. Tendo seu viscoso controlado, quando o sistema está com acúmulo, tem-se a troca do poço, e espera-se a secagem do material, sendo transportado para os aterros.

Quando disseminados em aterros, vem-se a preocupação dos resíduos de argila em relação a sua quantidade gerada, como é significativa, com o passar dos anos pode-se esgotar as áreas aptas para este tipo de rejeito.

Os resíduos são geralmente estocados em locais a céu aberto ou em alguns casos, são jogados em rios sem nenhum tipo de tratamento ocasionando problemas de assoreamento, contaminando as águas de rios e córregos e podendo até mesmo contaminar reservatórios naturais de água. (CHAVES, 2009)

3.6 Uso de rejeitos para a fabricação de revestimento cerâmico

Com uso de rejeitos, dejetos e outros produtos para produção de materiais cerâmicos vem desenvolvendo de maneira vertiginosa, pois além de colaborar para a preservação do meio ambiente, o uso adequado reduz de maneira significativa os custos de fabricação desses materiais.

A alternativa dos materiais para a inclusão em peças cerâmicas depende vários fatores, entre eles podemos citar: composição química, granulometria, temperatura de fusão e abundância desse material no Meio Ambiente.

São exemplos de trabalhos já realizados com o objetivo de estudar a viabilidade do uso de rejeitos, dejetos e outros produtos para a fabricação de materiais cerâmicos:

- Luz (2008) desenvolveu porcelanatos a partir de matérias primas da região da bacia da Parnaíba.
- Cabral (2009) estudou a viabilidade técnica da utilização dos rejeitos do granito *Rain Forest* como matéria prima para a produção de revestimento cerâmico.
- Freires (2011) estudou a viabilidade do uso dos resíduos da exploração do granito e do caulim, visando à produção de revestimento cerâmico de baixa absorção de água.

3.7 Granito

Mello (2006) define granito como sendo uma rocha silicática composta em grande parte por feldspato e quartzo. Pode - se classificar o granito como uma rocha ígnea e metamórfica.

O Brasil possui grandes reservas de pedras ornamentais que são utilizadas como pisos e revestimentos. Estas pedras além da beleza trazem algumas características físico-químicas importantes (MOREIRA, FREIRE e HOLANDA, 2003).

O estado do Ceará possui grandes reservas de granito, que são comercialmente exploradas para a fabricação de pisos e revestimentos. No ano de 2001, o Ceará ocupava a sexta colocação no Brasil entre os estados produtores de granito (FÉLIX, 2001).

Existem várias rochas silicáticas catalogadas no estado do Ceará, contendo informações importantes tais como: nome comercial e petrográfico, massa específica (g/cm^3), porosidade (%), absorção (%), resistência a compressão (MPa) e resistência a flexão (MPa) (VIDAL, 1999).

3.8 Feldspato

O termo feldspato vem do alemão *feld* (campo) + *spath* (pedra). Bragança (2002) define feldspato como um grupo de silicatos de alumínio combinados com sódio, potássio e cálcio, eventualmente com o bário. Sua ocorrência são em rochas de média ou fina granulação ou junto com o ferro, o que pode inviabilizar sua utilização.

Os feldspatos desempenham o papel de fundente, pois sua temperatura de fusão é menor do que o de outros componentes, proporcionando as primeiras fases líquidas que aparecem durante a sinterização. Portanto, os feldspatos são responsáveis pelo processo de densificação, contribuindo para diminuição da absorção de água das peças de porcelanato atribuindo - lhes as propriedades desejadas (LUZ, 2008).

Os elementos mais eficazes na formação da fase líquida são óxidos de metais alcalinos (Na_2O e K_2O) e alcalinos terrosos (CaO e MgO), e estes interferem na característica durante a sinterização.

O feldspato é dividido em três classes: feldspato para massa cerâmica ou corpo cerâmico, feldspato para vidrados e esmaltados e o feldspato para vidros.

Os feldspatos usados na indústria tem geralmente a seguinte composição: SiO_2 (65 a 70%); Al_2O_3 (15 a 19%); Fe_2O_3 (0,05 a 0,10%); K_2O (0,8 a 1,2%); Na_2O (0,3 a 5%) e CaO (menor que 1%) (LUZ, 2008).

As principais aplicações dos feldspatos são:

- Louça sanitária;
- Louça de mesa;
- Porcelana elétrica;
- Fita metálica;
- Esmaltes;
- Revestimentos cerâmicos, como por exemplo o porcelanato.

Na fabricação do grês – porcelanato, os feldspatos são os principais responsáveis pelas características finais do produto. Neste caso, utiliza - se principalmente o microclínio e a albita (em menor proporção) para evitar deformações na peça cerâmica durante a sinterização (BORBA *et al*,1996).

3.9 Quartzo

O quartzo é um material não plástico, com elevada temperatura de fusão (apresentando pouca alteração durante o tratamento térmico), além disso, é relativamente duro e quimicamente não reativo (CABRAL, 2009).

Quartzo é a única forma estável da sílica a temperatura ambiente, apresentando-se em variedades cristalinas e criptocristalinas (utilizadas em rochas ornamentais) (BRAGANÇA, 2002).

A presença de quartzo nas massas cerâmicas de revestimento é fundamental, pois este elemento contribui para o controle da dilatação e para o ajuste da viscosidade da fase líquida formada durante a sinterização. Além disso, facilita a secagem e liberação de gases da queima (LUZ, 2008).

3.10 Quartzitos

O quartzito é classificado geologicamente como uma rocha metamórfica, composto quase que inteiramente de grãos de quartzo. Sua origem está relacionada com ação de processos metamórficos desenvolvidos principalmente sobre rochas sedimentares ricas em quartzo, tais como arenitos e cherts(rochas ricas em sílica amorfa) (ABIROCHAS, 2014). O quartzito é uma rocha metamórfica granoblástica composta principalmente de quartzo e que é formada por recristalização de arenito ou de sílex por metamorfismo regional ou de contato (MROLSD, 2013).

Alguns quartzitos, devido à concentração de micas iso-orientadas em níveis específicos, são finamente foliados ou laminados, permitindo com relativa facilidade sua partição através destes planos de fraqueza. A presença desta estruturação, porém, impossibilita sua obtenção como blocos e sua utilização em teares ou mesmo corte regulares de chapa. Em função disso, são usualmente extraídos como placas diretamente dos afloramentos (COSTA *et al.*, 2002).

3.11 Mulita

Rosário (2013) afirma que a mulita é um dos mais proeminentes materiais cerâmicos. Apesar de ser rara em rochas naturais, mulita é talvez a fase mais frequente em cerâmicas tradicionais, principalmente em materiais argilosos.

A mulita é uma das principais matérias primas da indústria cerâmica, com excelentes propriedades térmicas e mecânicas. Ela é formada quando a sílica (SiO_2) e a alumina (Al_2O_3) se combinam em altas temperaturas para formar uma fase cristalina cuja a composição estequiométrica apresenta a fórmula ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), sendo classificado como silicato – aluminoso, com 71,8 %p de Al_2O_3 e 28,2%p de SiO_2 (DENG et al , 2001).

A mulita raramente é encontrada na natureza devido condições típicas para a sua formação as quais dependem de altas temperaturas e baixas pressões (FERNANDES, 2014).

Em um corpo cerâmico a mulita se divide em dois tipos: a mulita primária e secundária. A mulita primária é uma consequência direta da decomposição do caulim com o aumento de temperatura. A formação da mulita secundária se dá na fase vítrea formada pela fusão do feldspato, sendo fortemente influenciada pela viscosidade e composição da fase vítrea (BRAGANÇA E BERGMANN, 2004).

A mulita primária pode ser descrita em forma de um agregado de cristais de dimensões muito pequenas ($<0,5 \mu\text{m}$), já a mulita secundária como em forma característica de uma agulha prismática, formada na região do feldspato. A mulita secundária se origina a partir da superfície externa da mulita primária e cresce numa região de menor viscosidade (SHULLER, 2008).

A mulita pode ser aplicada em diversas áreas da engenharia por possuir propriedades importantes, tais como:

- Dureza;
- Alto ponto de fusão;
- Refratariedade;

- Estabilidade Térmica;
- Resistência à fluência;
- Estabilidade frente à corrosão.

3.12 Porcelanato

Com relação ao grupo das cerâmicas para revestimento encontra-se o porcelanato, conhecido também como grês porcelanato, ou ainda chamado de granito cerâmico (MELO, 2006).

Os corpos de grês porcelanato são basicamente constituídos por quartzo, mulita e uma matriz vítrea. (JUNIOR, 2010).

O porcelanato é um produto de corpo colorido, podendo ser ou não decorado superficialmente. Tem como característica principal baixa absorção de água e elevada resistência mecânica (SANCHEZ et al , 2001).

Por possuir características técnicas e estéticas distintas das demais cerâmicas, porcelanato vem sendo uma tendência em produtos cerâmicos para revestimentos (LUZ, 2008).

Por possuir características técnicas e estéticas distintas das demais cerâmicas, o porcelanato vem sendo uma tendência em produtos cerâmicos para revestimentos (LUZ, 2008).

Devido a suas características o porcelanato é motivo de atenção para fabricantes como também para os pesquisadores, que procuram melhorar suas propriedades a fim de que, mesmo sendo composto por matérias - primas naturais, possa conquistar características semelhantes aos das cerâmicas técnicas, cujas tecnologias empregadas na fabricação são mais sofisticadas (IMOLA, 1996).

4. JUSTIFICATIVA

O uso de material cerâmico é sustentado pela aplicação ao longo do tempo, desde os primórdios da construção civil, do início da civilização humana até os dias atuais, portanto é fundamental uma avaliação técnica da qualidade e da possibilidade de utilização de revestimento cerâmico na construção contemporânea.

Como o resíduo de pó de quartzito é um poluente ambiental, ou seja, um produto a ser descartado, mas é também produzido em grande escala devido à grande produção de indústria de material cerâmico, tem conseqüentemente, um baixo valor comercial.

Caso os ensaios foram realizados mostrem resultados satisfatórios com os revestimentos cerâmicos de incorporados com resíduo de pó de quartzito atendam a todas as normas vigentes para os revestimentos cerâmicos, essa substituição acarretará na redução do valor de produção do revestimento cerâmico, o qual irá acarretar conseqüentemente em redução no seu valor comercial, ou seja, as construções que utilizarem revestimento cerâmico terão menor custo.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Materiais

Os materiais utilizados neste projeto foram:

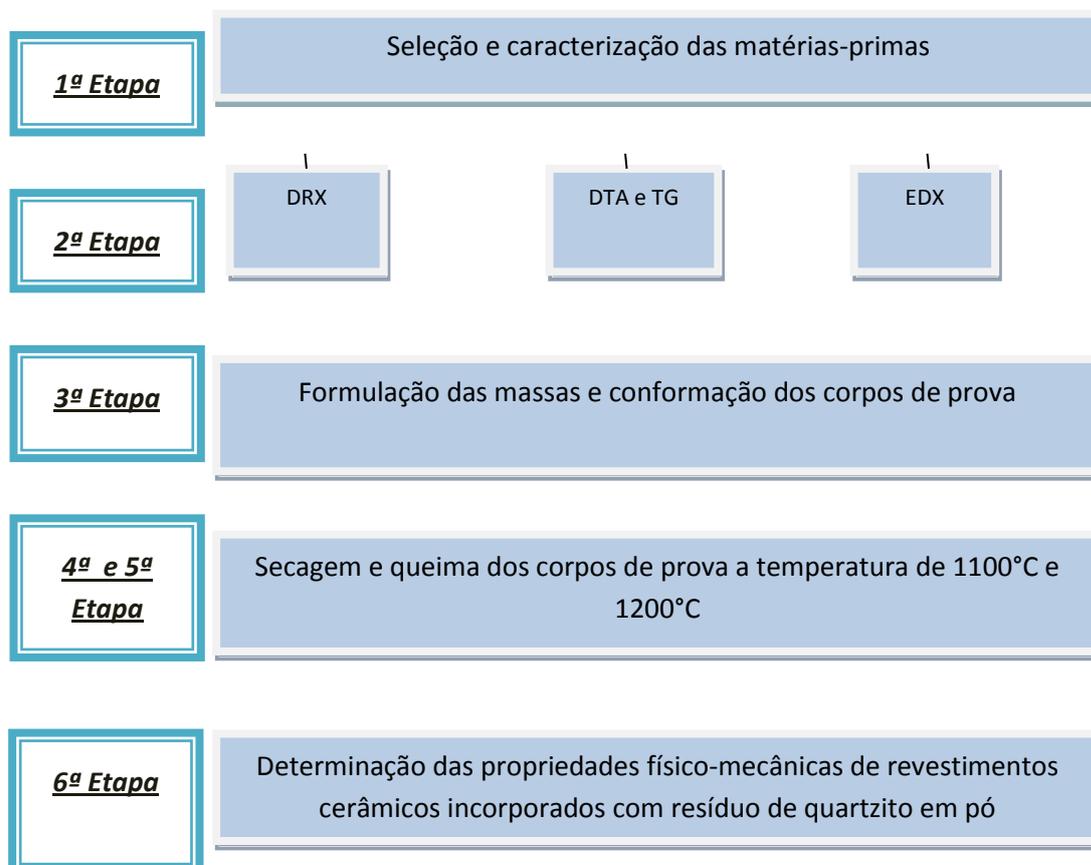
Argila: proveniente do município de Alhandra-PB, fornecida pela indústria ARMIL MINERIOS LTDA;

Resíduo de quartzito: O resíduo utilizado é proveniente da terceira etapa de beneficiamento de mármore. Foi fornecido pela GRANFUGI S/A – Industrial Comercial Importadora e Exportadora, Alça Sudoeste, Rodovia Alça Sudoeste, Quadra 18, Km 1,4, município de Campina Grande-PB.

5.2 Métodos

A Figura 1 ilustra o fluxograma das etapas do projeto.

Figura 1 - Fluxograma das etapas do projeto.



FONTE: Dados da pesquisa (2017)

5.2.1 Seleção dos materiais

5.2.1 Coleta e seleção dos materiais

Inicialmente foi realizada a coleta da argila e do resíduo de quartzito, procedendo-se com o beneficiamento em peneira ABNT N° 200 (0,074 mm) para realização dos ensaios de caracterização das matérias-primas. Para os ensaios tecnológicos, as matérias-primas foram misturadas em moinho de bolas para distribuir de forma uniforme todos os componentes na massa, em seguida foram secas e passadas em peneiras ABNT N° 80.

5.2.2 Caracterização química, física e mineralógica das matérias-primas.

Foram realizados ensaios de caracterização através da determinação da composição química, difração de raios-X, fluorescência de raios-X e análise granulométrica das matérias-primas utilizadas neste trabalho.

5.2.2.1 Caracterização química por fluorescência de raios-X

A composição química das matérias-primas foi realizada em Equipamento EDX-900 da marca Shimadzu, pelo método de Espectrofotometria Fluorescente de Raio-X.

Figura 2: Equipamento de análise por Fluorescência de Raios-X



FONTE: Dados da pesquisa (2017).

5.2.2.2 Difração de Raios-X

As análises por difração de Raios-X das amostras estudadas nesta pesquisa foram realizadas em um equipamento modelo XRD 6000 da Shimadzu, operando com radiação Cu $\kappa\alpha$ (30kV/40mA), com varredura entre $2\theta(3^\circ)$ e $2\theta(60^\circ)$ e com velocidade de varredura de $2^\circ/\text{min}$.

5.2.2.3 Análise termodiferencial e termogravimétrica

As análises térmicas diferenciais (ATD) e termogravimétricas (TG) das amostras foram realizadas em equipamento BP Engenharia, Modelo RB 3000, operando a $12,5^\circ\text{C}/\text{min}$. A temperatura máxima utilizada nas análises térmicas foi de 1000°C e o padrão utilizado nos ensaios de ATD foi o óxido de alumínio (Al_2O_3) calcinado.

Figura 3: Equipamento utilizado para realização de ensaios de análises térmica



FONTE: Dados da pesquisa (2017).

5.2.3 Formulação das massas

Foram formuladas composições, segundo a metodologia de delineamento de misturas do planejamento experimental, contendo argila e resíduo de mármore para avaliar a viabilidade da mistura dessas matérias-primas para produção de revestimentos cerâmicos. Foi estabelecido, por necessidades de processamento, limites inferiores e superiores de 80 e 90% de argila, respectivamente e limites inferiores e superiores de 10% e 20% de resíduo de quartzito.

Figura 4: Formulações das massas



FONTE: Dados da pesquisa (2017).

5.2.4 Conformação dos corpos de prova

As matérias-primas serão misturadas em moinho de bolas. Após a etapa de mistura, as massas serão secas e passadas em peneiras ABNT N° 80(0,18mm). Em seguida, serão confeccionados corpos de prova com dimensões de 60 mm x 20 mm x 5 mm por prensagem uniaxial (prensa

hidráulica SCHWING SIWA) a 24,0 MPa, destinados a determinação das propriedades físico-mecânicas.

5.2.5 Etapa de queima dos corpos de prova

Os corpos cerâmicos obtidos por prensagem uniaxial serão secos em estufa (110°C por 24h) e serão submetidos à queima rápida (Forno Maitec FE 50rp), a temperatura de 1100°C e 1200°C.

Figura 5: Queima dos corpos de provas



FONTE: Dados da pesquisa (2017).

5.2.6 Determinação das propriedades físicas e mecânicas

Serão determinadas as seguintes propriedades: absorção de água e módulo de ruptura à flexão. A absorção de água será determinada através da NBR 13818 (1997). A resistência à flexão (TRF) será determinada através do

ensaio de flexão em três pontos, de acordo com a norma ABNT NBR 13818 (1997), com velocidade de deslocamento do braço de aplicação da carga de 0,5 mm/min.

Os resultados obtidos resultam da média aritmética de 5 corpos de prova e foram comparados os estabelecidos pela norma NBR 13818/1997.

Figura 6: Ensaio de absorção



FONTE: Dados da pesquisa (2017).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da caracterização das matérias-primas por análise química e difração de raios-X, pôde obter os resultados da composição química e das fases mineralógicas dos materiais.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para o ensaio de análise química das matérias primas em estudo.

Tabela 2: Análise química das matérias primas em estudo

Matérias-primas	Composições							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	CaO	Na ₂ O	PF
Argila	53,49	22,25	11,15	3,87	1,44	2,66	-	5,12
Resíduo de quartzito	70,73	12,19	4,39	9,79	0,40	0,45	-	2,05

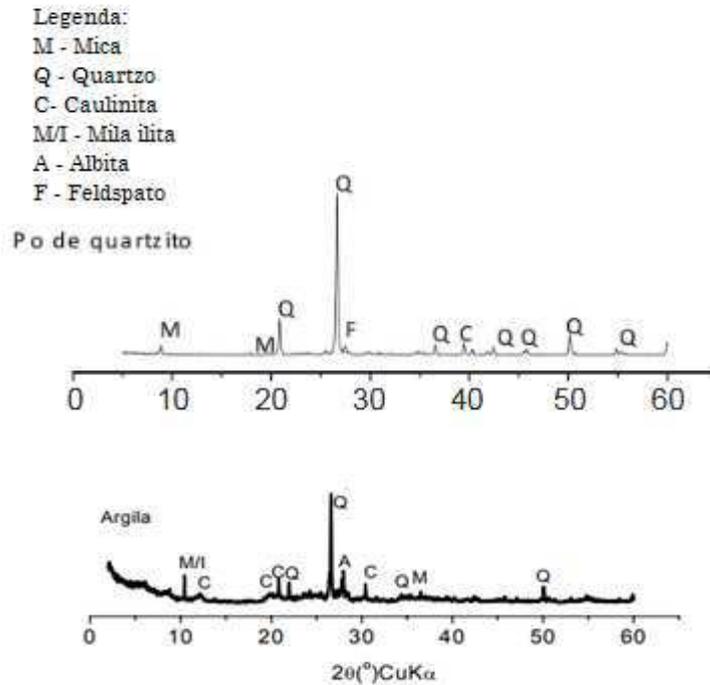
PF: Perda ao Fogo.

Observando os valores da composição química, verifica-se que o resíduo de quartzito é constituído basicamente de sílica (70,73 %), Al₂O₃ (12,19 %), teor de óxido de ferro de 4,3% e óxido fundente (K₂O= 9,79 %). O óxido de potássio irá atuar como agente fundente, ajudando na sinterização das peças cerâmicas.

Em relação à argila, os teores de sílica, alumina e ferro são típicos de argila para cerâmica vermelha.

A Figura 7, ilustra os resultados obtidos para a difração de raios-X das matérias primas em estudo.

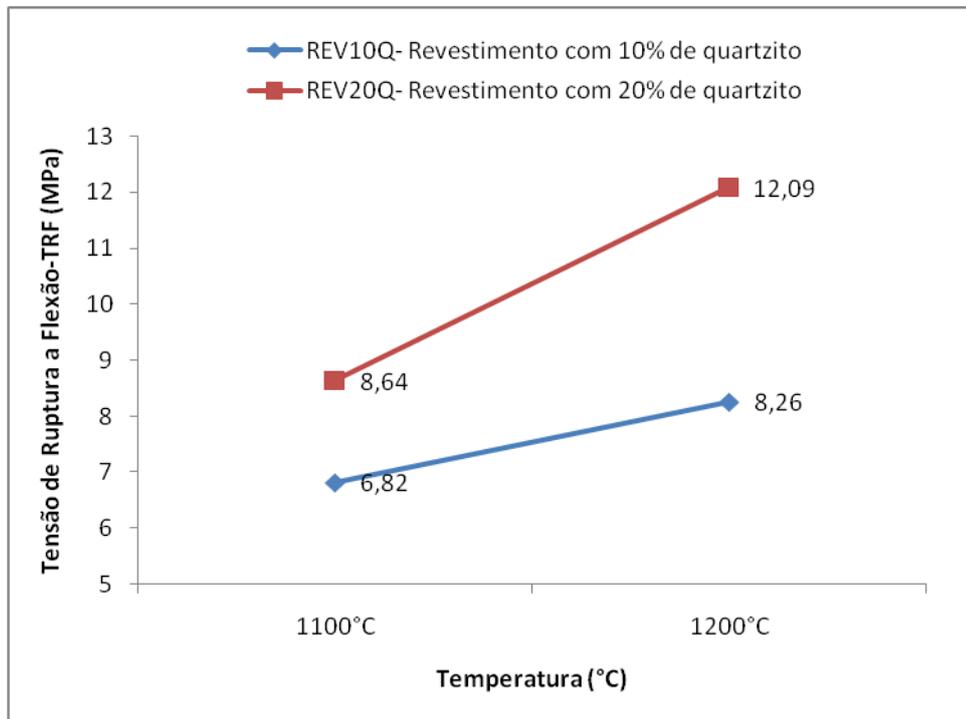
Figura 7: Difratograma de raios-X das matérias primas em estudo.



Observando o difratograma do resíduo de quartzito em pó, verifica-se a presença de mica, caracterizada pelas distâncias interplanares de $9,47\text{Å}$; e de caulinita caracterizada pela distância interplanar de $7,32\text{Å}$; de quartzo (SiO_2), caracterizada pela distância interplanar de $3,34\text{Å}$; Para a argila utilizada na pesquisa, observa-se a presença das seguintes fases: mica/ilita, caulinita, quartzo e feldspato do tipo albita.

A Figura 8 ilustra os resultados obtidos para o módulo de ruptura a flexão dos corpos de prova de revestimentos cerâmicos incorporados com resíduo de quartzito nos teores de 10% e 20%.

Figura 8: Tensão de ruptura a flexão dos corpos de prova das composições em estudo



FONTE: Dados da pesquisa (2017).

Observa-se de forma geral, que a composição com maior teor de resíduo de quartzito e menor teor de argila apresentou melhor resultado para o módulo de ruptura, indicando que é possível maximizar o teor de resíduo de quartzito e obter propriedades mecânicas que atendem aos parâmetros normativos.

Este comportamento pode ser justificado pela composição química e mineralógica do resíduo, que possibilitou um empacotamento perfeito das partículas, permitindo uma melhoria na resistência mecânica.

Observou-se também que o aumento da temperatura de queima promoveu o aumento da resistência para as composições em estudo, obtendo-se os melhores resultados para a composição com 20% de resíduo de quartzito a temperatura de 1200°C, Isto se deveu ao melhor empacotamento das partículas, das novas fases formadas e sua densificação, fatores que favoreceram o comportamento mecânico.

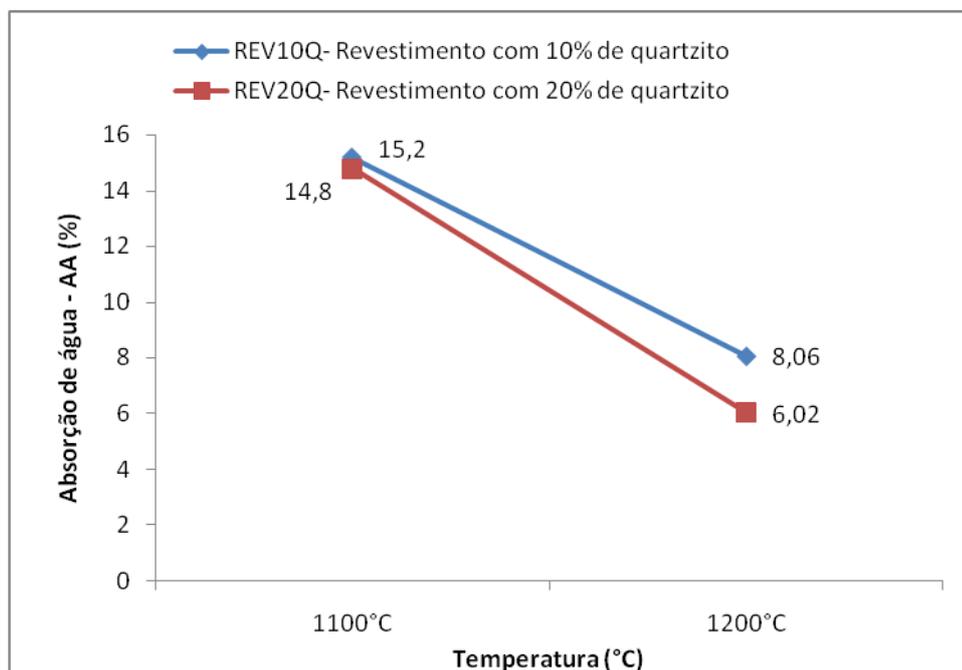
Medeiros et al., (2017) analisando a expansão por umidade de revestimentos cerâmicos incorporados em quartzito nos teores de 5%, 10% e 15% as temperaturas que variam de 800°C a 1250°C, verificou que nas temperaturas de 1100°C e 1200°C, observou-se aumento significativo da resistência para os corpos de prova contendo 10% e 15% de resíduo de quartzito, destacando-se os obtidos com as massas contendo resíduo na temperatura de 1200°C, o que pode estar relacionado com a presença das fases mulita e espinélio. Outro fator para elevação da resistência foi a presença do K_2O , além de maior quantidade de SiO_2 e menor quantidade de Al_2O_3 , fatores que podem ter contribuído para a formação do líquido eutético e a fluidez da fase líquida de menor viscosidade, acelerando a cinética das reações.

A utilização destes percentuais de resíduo de quartzito em composições cerâmicas contribui para a redução dos custos de produção, minimiza o consumo de matérias-primas convencionais e conseqüentemente a extração das mesmas, além de reduzir o impacto ambiental originário do descarte deste resíduo no meio ambiente.

De acordo com a norma da ABNT NBR 13818/97 revestimentos cerâmicos com valores de resistência a flexão dentro dos valores obtidos neste estudo podem ser classificados como B1b.

A Figura 9 ilustra a absorção de água dos corpos de prova de revestimentos cerâmicos incorporados com resíduo de quartzito nos teores de 10% e 20%.

Figura 9: Absorção de água dos corpos de prova de revestimentos cerâmicos incorporados com resíduo de quartzito nos teores de 10% e 20%.



FONTE: Dados da pesquisa (2017).

De acordo com os resultados obtidos, pôde-se verificar que o aumento do percentual de resíduo de quartzito ocasionou a redução da absorção de água dos revestimentos cerâmicos em estudo, obtendo-se os melhores resultados para a composição contendo 20% de resíduo de quartzito a temperatura de 1200°C.

Medeiros et al. (2017), também obteve resultados semelhantes para absorção de água de revestimentos cerâmicos incorporados com resíduo de quartzito, indicando que o resíduo de quartzito contribui para a redução da absorção de peças cerâmicas.

Assim, a utilização do resíduo de quartzito em composições cerâmicas, possibilitará minimizar o quantitativo a ser descartado no meio ambiente, gerando desta forma benefícios econômicos e ambientais, visto que será dado um destino ambientalmente correto, reduzindo os custos da empresa geradora do resíduo com a disposição do mesmo, agregará valor a um material indesejável e reduzirá o impacto ambiental causado pela exposição do mesmo no meio ambiente. Devido a sua composição química do resíduo de caulim ao

atingir a fauna e a flora acarreta danos à saúde dos animais e extinção de plantas nativas, além de gerar danos à saúde humana como doenças de pele, doenças respiratórias, etc.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

De acordo com os resultados obtidos pode considerar que:

O resíduo de quartzito apresenta propriedades físicas, químicas e mineralógicas que permite sua utilização como componente de composições cerâmicas por possuir composição similiar as matérias-primas convencionais utilização para esta finalidade;

A incorporação do resíduo de quartzito contribuiu para a elevação da resistência a flexão dos revestimentos cerâmicos desenvolvidos neste estudo, indicando que o teor de 20% de incorporação contribui para uma melhoria da resistência mecânica especialmente a temperaturas de queima mais elevadas, justificando-se pela sua composição química e mineralógica.

A absorção dos revestimentos cerâmicos em estudo foi influenciada pelo teor de resíduo incorporado, verificando que quanto maior o teor de incorporação, menor a absorção e que temperaturas mais elevadas de queima proporcionam a obtenção de peças contendo o resíduo de quartzito com índice de vazios reduzidos, este fato também sendo justificado pelo melhor empacotamento das partículas e pela composição química do resíduo que auxilia na sinterização das peças.

7.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Estudar as propriedades físicas e mecânicas de revestimentos incorporados com teores de quartzito superiores aos deste estudo;
- Avaliar a retração de revestimentos incorporados com quartzito;
- Avaliar a EPU de revestimentos incorporados com quartzito.

REFERÊNCIAS

ABCERAM. Associação Brasileira de Cerâmica. Disponível em:<<http://www.abceram.org.br>>. Acesso em: 25 jul.2015.

ABIROCHAS. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Rochas Ornamentais no Século XXI.2014. Disponível em: <<http://www.abirochas.com.br/br/index.html>>. Acesso em: 28 de julho 2017

ABIROCHAS-Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Disponível em: < www.abirochas.com.br/ >. Acessado em: 28 de junho 2017.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13816 - Placas cerâmicas para revestimento – Terminologia 1997.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13817 - Placas cerâmicas para revestimento - Classificação 1997.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13818 - Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios.,1997.

ANFACER. Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmicas para Revestimento. Revestimentos Cerâmicos do Brasil, 2013.

ANFACER. Especificação de placas cerâmicas. Disponível em: [HTTP://anfacer.org.br](http://anfacer.org.br) . Acessado em Junho de 2017.

Anuário Estatístico: **Setor de Transformação de Não Metálicos / Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**. –Ano base: 2012– Brasília.

BON, A. M. T. **Exposição ocupacional à sílica e silicose entre trabalhadores de marmorarias**, no município de São Paulo. Tese. Universidade de São Paulo, 2006.

BORBA, C. D. G., et al. Estudo de matérias-primas fundentes. **Cerâmica Industrial**, Março/Abril, 1996.

BRAGANÇA, S. R. **Desenvolvimento de uma cerâmica triaxial utilizando vidro como fundente e relação com microestrutura e propriedades tecnológicas**. 2002. 216f. Tese (Tese em Engenharia de Minas, Metalúrgica e

de Materiais) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

BRAGANÇA, S. R.; BERGAMANN, C, P. Aspectos teóricos e práticos sobre a resistência mecânica de porcelanas. **Cerâmica**, v. 50, p.145-155, 2004.

CABRAL, D. H. P. **Uso de rejeitos do granito rain forest para a produção de revestimentos Cerâmicos com baixa absorção de água**. 2009. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Ceará.

CHAVES, L. F.M. **Estudo da adição do resíduo proveniente da extração de minério de ferro em argilas do rio grande do norte**. Tese. Universidade Federal do Rio grande do Norte, 2009.

COSTA. A. G.; CAMPELLO, M. S.; MACIEL. S. L.; CALIXTO. C.; BECERRA, J. E. Rochas ornamentais e de revestimentos: proposta de classificados com base na caracterização tecnológica. **In: Simpósio sobre Rochas Ornamentais do Nordeste**. Anais. Recife. PE. 2002.

COSTANTINO, A.; O. ROSAS. S. E.; CORRÊA, A. R. Panorama do setor de revestimento cerâmico, Setembro de 2006. Disponível em: [HTTP: // www.bndes.gov.br](http://www.bndes.gov.br) Acessado em 24 de novembro 2017.

DANTAS, A. P. A. **Utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de cerâmica branca**. 2008. Dissertação (Mestrado) –Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

DENG, Z. Y.; FUKASAWA, T.; ANDO, M.; ZHANG, G. J.; OHJI, T. Microstruture and mechanical properties of porous alumina ceramics fabricated by the decomposition of aluminum hydroxide. **J. Am. Ceram . Soc.** v .84, n.11, p. 2638-2644, 2001.

FÉLIX, P. C. G.; **Estudo da Viabilidade Técnica da Moldagem por Injeção a Baixas Pressões de Pó Residual de Granito**. 2001. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Ceará.

FERNANDES, L. **Formação de mulita ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) “in situ” a partir de diferentes tipos de sílicas amorfas sintéticas (SAS’s)**. 2014. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo.

FREIRES, P. F. **Efeitos da co-utilização dos resíduos do beneficiamento do caulim e da extração do granito Rain Forest para produção de revestimentos cerâmicos com baixa absorção de água**. 2011. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Ceará.

FRIMAIO, A. **Desenvolvimento de um material cerâmico para utilização em proteção radiológica diagnóstica**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN Universidade de São Paulo. São Paulo / SP, 2006.

HERRERA, J. A. Q. **Quantificação e correlação das variáveis do ciclo de vida energético da edificação: energia incorporada na envolvente arquitetônica e consumo energético pelo comportamento térmico, caso de estudo: moradia**. Tese. Universidade de São Paulo, 2013.

IMOLA, SACMI. Gres fine porcellanato. Imola .1996

Junior, J. A. B.; Koshimizu. L.; Gilbertoni. C.; Morelli, M. R.;. Study of the use of alternative fluxing agentes for feldspar in porcelainized stoneware tile compositions. **Ceramics**. v. 56; p 262-272. 2010.

Luz, J. C. **Desenvolvimento de formulações para a produção de grês porcelanato a partir de matérias primas da região da bacia da Parnaíba**. 2008. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte.

Luz, J. C. **Desenvolvimento de formulações para a produção de grês porcelanato a partir de matérias primas da região da bacia da Parnaíba**. 2008. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) -

Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte.

MÁRMORE. Disponível em:<<http://www.mundoeducação.com/quimica/marmore.htm/>>. Acessado em: 28 de junho 2017.

MELLO, R. M. **Utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de mármore e granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha.** Dissertação. Instituto de pesquisas energéticas e nucleares, 2006.

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

MOURA, W.A.,GONÇALVES, J. P., LEITE, R. S. **Utilização do Resíduo de Corte de Mármore e Granito em Argamassas de Revestimento e Confecção de Lajotas para Piso.** Universidade Estadual de Feira de Santana, n.26, p 49-61, jan./jun. 2002.

MROLSD.Mineral Resources On-Line Spatial Data.Quartzite. 2013. 1f. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 2013.Disponível em:<<http://mrdata.usgs.gov/geology/state/sgmc-lith.php?text=quartzite>>. Acesso em: 04 dez. 2017.

ROSÁRIO, J. J. **Fabricação de esponjas cerâmicas à base de mulita e a avaliação de seu desempenho em queimadores porosos radiantes.** 2013. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Curso de pós – graduação em engenharia mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

R.R. Medeiros et al. / cerâmica 63 (2017).

SANCHES. E; ORTS. M. J; GARCIA-TEN. J; CANTAVELLA. V.;. Efeito da composição das matérias primas empregadas na fabricação de grês porcelanato sobre as fases formadas durante a queima e as propriedades do produto final. **Cerâmica Industrial**. v. 6; p. 15 – 22. 2001.

SHULER, K. H. Ceramics monographs – A handbook of ceramics. 2008

VIDAL, F. W. H., BESSA, M. F., LIMA, M. A. B. Avaliação de rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas, **CETEM/MCT**, Série Tecnologia **Mineral**. v. 74;1999.