



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

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE BLOCOS CERÂMICOS
INCORPORADOS COM RESÍDUO DE QUARTIZITO EM PÓ**

IGOR FURTADO TARGINO

Orientadora: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça.

Campina Grande-PB, 21/12/2017

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE BLOCOS CERÂMICOS
INCORPORADOS COM RESÍDUO DE QUARTIZITO EM PÓ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande-PB, 21/12/2017

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

IGOR FURTADO TARGINO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Campina Grande como requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Área de habilitação: Materiais de Construção.

Orientador: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

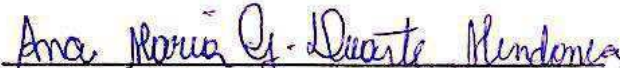
CAMPINA GRANDE – PB

Dezembro/ 2017

IGOR FURTADO TARGINO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE BLOCOS CERÂMICOS
INCORPORADOS COM RESÍDUO DE QUARTZITO EM PÓ**

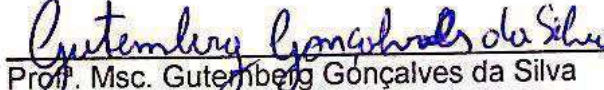
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em 21/12/2017
perante a seguinte Comissão Julgadora:


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

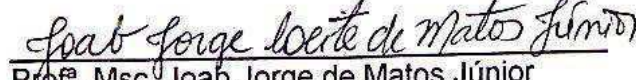
Aprovado


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

Aprovado


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

Aprovado


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

Aprovado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu Deus, o Todo Poderoso, que está comigo todos os dias da minha vida. Meu sustento, minha paz, minha fonte de sabedoria, sem o qual jamais chegaria aonde cheguei. A Ele toda a honra e toda a glória, sempre.

À minha família, por todo apoio e incentivos em todas as etapas da minha vida. Por acreditar no meu potencial e torcer por mim. Pelo amor tão grande que nos une e por ser um presente tão lindo de Deus para a minha vida.

Agradeço aos meus pais, Hélder e Morgana, por toda a dedicação, investimentos e cuidados. Por me ensinarem princípios, pela educação e pelo encorajamento. Muito obrigado por muitas vezes abrirem mão de pensar em vocês para pensarem em seus filhos. Agradeço a vocês por todo o amor, por se alegrarem comigo nas alegrias e chorarem comigo nas tristezas.

À minha namorada, Eliza Moreira, por ser um porto seguro, por me incentivar, cuidar e me amar tanto. Por sonhar nossos sonhos e por me fazer ser melhor. Por em mim confiar, acreditar e por me ajudar tanto, até quando nem imagina.

À minha irmã, Thainá, pelo companheirismo, cumplicidade e amor. Sua vida é demasiadamente importante para mim.

À minha pastora e sogra, Graça Moreira, por todos os ensinamentos e pelo tempo dedicado a orar por mim. Pela preocupação, aconselhamentos, cuidado de mãe e pelo exemplo de liderança que é.

Agradeço a todos os meus irmãos Celebrando VIDA, família que Deus me deu e que me ajuda a ser melhor.

Aos meus amigos, da universidade e da vida, por se fazerem presentes e contribuírem para fazer os meus dias mais felizes.

Agradeço a minha orientadora por toda dedicação, ensinamentos, paciência e prontidão para ajudar. É uma honra ser seu orientando.

Agradeço a todos os professores que já tive, pelos bons ensinamentos que agregaram conhecimentos para a profissão e para a vida.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para o meu crescimento e para a concretização deste trabalho. Muito obrigado!

DEDICATÓRIA

A Deus, a toda a minha família, em especial meus pais, meu avô Edmilson Monteiro Furtado (*in memoriam*), minha avó Zelma Maria Miranda Furtado (*in memoriam*) e a minha namorada, dedico este trabalho. Vocês me ajudam e me inspiram a ser melhor.

Ora, àquele que é poderoso para fazer infinitamente mais do que tudo quanto pedimos ou pensamos, conforme o seu poder que opera em nós.

Efésios 3:20

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização geográfica da cidade de Junco do Seridó	28
Figura 2: Resíduo fino de quartzito	29
Figura 3: Resíduos grossos e finos de quartzito	30
Figura 4: Fluxograma das etapas da pesquisa.....	33
Figura 5: Difratoograma de raios-X das matérias-primas em estudo	37
Figura 6: Tensão de ruptura à flexão dos corpos de prova das composições em estudo	38
Figura 7: Absorção de águas dos corpos de prova de revestimentos cerâmicos incorporados com resíduo de quartzito nos teores de 10% e 20%	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise química das matérias-primas em estudo	36
---	----

RESUMO

Com a crescente demanda da construção civil por rochas ornamentais, como granitos, mármore e quartzitos, surgem problemas de saúde ambiental originados pela incorreta destinação dos resíduos dessas rochas no meio ambiente durante as suas etapas de lavra e beneficiamento. Localizada na microrregião do Seridó paraibano, a cidade de Junco do Seridó destaca-se no comércio do quartzito e carece de políticas de gerenciamento de seus resíduos. Este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de blocos cerâmicos incorporados com resíduos de quartzito do Junco do Seridó. Foram realizados ensaios de caracterizações físicas, químicas e mineralógicas das matérias-primas utilizadas, a saber, fluorescência de raios-X, análise térmica diferencial e termogravimétrica, difração de raios-X e análise granulométrica. Sequencialmente houve a determinação das composições cerâmicas e foram conformados os corpos de provas. Estes estiveram submetidos à secagem em estufa por 24 horas e foram sinterizados às temperaturas de 800°C e 900°C. Por fim, foram determinadas as suas propriedades físicas e mecânicas, verificando-se que a adição de um teor de 20% de quartzito na composição cerâmica promoveu uma elevação na resistência mecânica e redução na absorção de água nos blocos cerâmicos produzidos nesse estudo, principalmente nas temperaturas de queima mais elevadas, comprovando a viabilidade da utilização de resíduos de quartzito como componentes de composições cerâmicas, além de possuírem composições similares às matérias-primas convencionais que são utilizadas naquelas.

Palavras-chave: Matérias-primas alternativas; Reaproveitamento de resíduos sólidos; Rochas Ornamentais.

ABSTRACT

With the increasing demand of the civil construction for ornamental rocks, like granites, marbles and quartzites, environmental health problems arise due to the incorrect destination of the residues of these rocks in the environment during its stages of mining and processing. Located in the Seridó micro-region of Paraíba, the city of Junco do Seridó stands out in the quartzite trade and lacks waste management policies. This work aims to evaluate the physical and mechanical properties of ceramic blocks incorporated with quartzite residues from Junco do Seridó. Were performed tests of physical, chemical and mineralogical characterization of the raw materials used, known as X-ray fluorescence, thermal and thermogravimetric differential analysis, X-ray diffraction and granulometric analysis. Sequentially the compositions were determined and the test samples were conformed. These were submitted to drying in an oven for 24 hours and were sintered at temperatures of 800°C e 900°C. Finally, its physical and mechanical properties were determined and it was verified that the addition of a 20% quartzite content in the ceramic composition promoted an improvement in the mechanical resistance and reduction in the water absorption in the ceramic blocks produced in this study, especially in the higher burning temperatures, proving the feasibility of the use of quartzite residues as components of ceramic compositions, besides to having similar compositions to the conventional raw materials that are used in them.

Key words: Alternative raw materials; Ornamental rocks; Reuse of solid waste.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa	15
1.2 Hipótese da pesquisa	16
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16
1.4 Organização do Trabalho de Conclusão de Curso	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 A construção civil e o uso de matérias-primas alternativas	18
2.2 Materiais cerâmicos utilizados na construção civil	18
2.2.1 Cerâmica Vermelha	19
2.2.1.1 Blocos cerâmicos utilizados na construção civil	20
2.2.1.2 Telhas	21
2.2.2 Cerâmica Refratária	22
2.2.3 Cerâmica Branca	22
2.2.4 Revestimentos cerâmicos	23
2.3 Rochas ornamentais e sua dinâmica produtiva e comercial no Brasil	23
2.3.1 Mármore	24
2.3.2 Granito	25
2.3.3 Quartzito	25
2.4 Quartzito do Seridó	26
2.4.1 Resíduos sólidos gerados pela lavra e beneficiamento do Quartzito na cidade do Junco do Seridó	27
2.4.2 Aproveitamento de resíduos de quartzito na construção civil	31

3. MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 Materiais	33
3.2 Metodologia	33
3.2.1 Coleta e seleção dos materiais	34
3.2.2 Caracterização química, física e mineralógica dos materiais.....	34
3.2.2.1 Difração de raios-x (DRX).....	34
3.2.2.2 Caracterização Química: Fluorescência de raios-x (EDX).....	34
3.2.2.3 Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimétrica (TG).....	34
3.3 Beneficiamento dos materiais e formulação das massas	35
3.4 Conformação dos corpos de prova	35
3.5 Processo de sinterização	35
3.6 Determinação das propriedades físicas e mecânicas	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
5.1 Sugestões para pesquisas futuras	42
REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

Diante dos avanços tecnológicos na Engenharia civil, incentivados pela necessidade de barateamento dos custos de produção dos materiais, execuções de serviços mais rápidos e obtenção de materiais mais resistentes e duradouros, assim como da preocupação com o meio ambiente, através da correta destinação de resíduos produzidos pela construção civil, minimização da poluição e diminuição de perdas, os estudos dos materiais de construção vêm avançando e contribuindo para uma engenharia mais eficiente e limpa (MATTOSINHO & PIONÓRIO, 2009).

Porém, no Brasil é notável a ausência de políticas de gestão de resíduos relacionados à construção civil. Conforme pesquisas do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2014), os índices de reciclagem de tais materiais são pequenos, resultando em um grande desperdício de materiais que têm potencial para serem utilizados na elaboração de materiais de construção.

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2017), entre os meses de Janeiro e Março de 2017 o Brasil exportou 529.663,341 kg de rochas ornamentais e de revestimento. Desse total exportado, grandes quantidades de resíduos que não são contabilizados acabam amontoados sem nenhuma finalidade, poluindo o meio ambiente e prejudicando a saúde humana das populações que residem próximas aos depósitos (FERNANDES NETO et al., 2015).

Buscando mudar essa realidade brasileira e com a crescente demanda do setor de construção civil por matérias-primas, a cidade de Junco do Seridó, no interior da Paraíba, mostra-se atrativa como fonte para fornecimento de resíduos de quartzito que são inutilizados após as etapas de extração e beneficiamento das rochas ornamentais (AMORIM, 2012).

Utilizados como matérias-primas na produção de mosaicos para pisos, revestimentos de paredes e na confecção de móveis, os quartzitos ganham cada vez mais espaço no mercado brasileiro de rochas ornamentais, seja na sua comercialização em forma rústica, talhada ou polida. Seus bons índices de coesão e sua estrutura cristalina densa e organizada são características favoráveis a sua utilização como rocha ornamental (SANTOS et al., 2014). Além disso, tais índices

fornece perspectiva de utilização dos resíduos do quartzito em novos materiais na indústria da construção civil, como nos cerâmicos. Estes apresentam uma grande variação de composição devido ao largo intervalo de composições das argilas utilizadas como matérias-primas nas suas fabricações, o que possibilita a utilização de novos resíduos nas massas cerâmicas (MENEZES et al., 2007).

O quartzito é classificado pela geologia como uma rocha metamórfica, sendo composto essencialmente pelo mineral quartzo e geralmente originado de rochas sedimentares. Segundo Carreiro et al. (2016), os resíduos de quartzito são gerados nas etapas de serragem dos blocos para transformação em placas e posteriormente pelo corte das placas. Tais resíduos de quartzito podem ser incorporados em materiais como blocos cerâmicos, tendo uma destinação ecológica e auxiliando na obtenção de produtos finais de qualidade.

Assim, esse trabalho objetiva avaliar as propriedades físicas e mecânicas de blocos cerâmicos incorporados com resíduos de quartzito provenientes do município de Junco do Seridó.

1.1 Justificativa

Diante da tendência ao esgotamento dos recursos naturais do planeta e da preocupação com os danos da indústria da construção civil ao meio-ambiente, a procura e desenvolvimento de novas matérias-primas para os materiais de construção são alternativas de desenvolvimento sustentável que agregam a busca por uma melhor qualidade de saúde ambiental ao barateamento dos custos de produção desses materiais. O quartzito apresenta potencial de utilização na indústria da construção civil devido aos seus altos níveis de coesão, dureza e tenacidade, fornecidos pela grande quantidade de quartzo presente nessa rocha, bons comportamentos físicos e mecânicos em elevadas temperaturas, facilidade de obtenção de diversas granulometrias e estrutura cristalina organizada e densa. A utilização dos resíduos de quartzitos como parte constituinte das massas cerâmicas, em substituição parcial da argila, é também uma forma de incentivar as pequenas empresas mineradoras, uma vez que gera agregação de valor ao material.

1.2 Hipótese da pesquisa

Partiu-se da seguinte hipótese: *“O quartzito pode ser incorporado como matéria-prima na fabricação de blocos cerâmicos e contribuir para a melhoria das propriedades físicas e mecânicas desses quando comparados com blocos cerâmicos fabricados com matérias-primas convencionais”*. A partir da aceitação dessa hipótese, tem-se uma alternativa para a diminuição do volume de resíduos de quartzito descartados no meio-ambiente, bem como para a redução da extração de matérias-primas que convencionalmente são utilizadas nos processos de elaboração de blocos cerâmicos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como principal objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de blocos cerâmicos incorporados com quartzito.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar química, física e mineralogicamente o resíduo de quartzito em pó;
- Estudar a absorção de água de blocos cerâmicos incorporados com teores de 10% e 20% de resíduo de quartzito em pó;
- Determinar a resistência de blocos cerâmicos incorporados com teores de 10% e 20% de resíduo de quartzito em pó.

1.4 Organização do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)

O texto deste Trabalho de Conclusão de Curso encontra-se em um volume único distribuído da seguinte forma:

[Capítulo 1] Introdução – Introdução, Justificativa, Hipótese da pesquisa, Objetivos do Trabalho de Conclusão de Curso

[Capítulo 2] Fundamentação Teórica – São abordados assuntos relacionados à construção civil, matérias-primas alternativas, materiais e blocos cerâmicos e rochas ornamentais, com enfoque no quartzito do município de Junco do Seridó;

[Capítulo 3] Materiais e Métodos – São abordados assuntos relacionados à pesquisa e relatados aspectos considerados importantes sobre os procedimentos da etapa experimental;

[Capítulo 4] Resultados e Discussões;

[Capítulo 5] Conclusões;

[Capítulo 6] Sugestões para pesquisas futuras.

Por fim, estão listadas as referências, onde são apresentadas as pesquisas citadas neste trabalho, e os anexos e apêndices relacionados aos estudos realizados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A construção civil e o uso de matérias-primas alternativas

A indústria da construção é um índice de grande representatividade sobre o desenvolvimento de uma região. O aumento do número de construções estimula a chegada de investimentos, inclusive contribuindo para o crescimento de setores que aparentemente não têm relação com a construção civil (TEIXEIRA, 2009).

Segundo Botelho et al. (2009), a construção civil vive em constante desenvolvimento tecnológico, seja pela utilização de métodos construtivos de montagens mais rápidas e limpas, da automação de serviços ou da utilização de matérias-primas alternativas. Estas últimas são muitas vezes responsáveis pelo barateamento dos produtos que as agregam, melhores resultados em testes de solicitações mecânicas e aumento da vida útil de tais produtos.

Além de contribuir com o desenvolvimento dos materiais de construção, a utilização de matérias-primas alternativas retira resíduos do meio ambiente que causam poluição e, por muitas vezes, prejudicam a saúde de pessoas que convivem nas proximidades dos locais onde esses materiais são depositados. Permitem também a redução das áreas de aterro e conseqüentemente de riscos de contaminação de solos e águas subterrâneas (OLIVEIRA & MENDES, 2008).

A ininterrupta exploração e utilização dos recursos naturais pelo setor acabam por gerar questionamentos sobre a quantidade de reservas de matérias-primas que restam no planeta. Com isso, a construção civil procura cada vez mais reutilizar resíduos gerados pelas construções e também por outros setores, como a mineração, gerando concomitantemente novas oportunidades de negócios (MENEZES et al., 2002).

2.2 Materiais cerâmicos utilizados na construção civil

Lino (2006) define materiais cerâmicos como sendo duros, frágeis, pouco tenazes e dúcteis. São inorgânicos, não metálicos, bons isolantes térmicos e elétricos, formados por elementos metálicos e não metálicos que são ligados entre si por ligações iônicas e/ou covalentes. Segundo Nóbrega et al., (2004), os materiais cerâmicos são obtidos através de processos de tratamento térmico em altas temperaturas, podendo ser fabricados a partir de matérias-primas naturais, como argila, quartzo e feldspato ou de matérias-primas sintéticas, como a alumina.

Motta et al. (2002) cita a classificação dos materiais cerâmicos em oito grupos: cerâmica vermelha, cerâmica branca, revestimentos, refratários, isolantes, cerâmicas especiais, cimento e vidro. Para Lino (2006), podem também ser divididos em dois grandes grupos: cerâmicos tradicionais e cerâmicos técnicos. Os tradicionais são obtidos a partir da argila, sílica e feldspato, enquanto os técnicos são obtidos de compostos mais puros, como a alumina (Al_2O_3) e o carboneto de silício (SiC).

Os materiais cerâmicos são bastante utilizados na construção civil, participando desde a composição de argamassas e revestimentos até a composição de elementos estruturais. A importância desses materiais é refletida na participação da indústria cerâmica brasileira na ordem de 1,0% no Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil. Alguns dos materiais cerâmicos mais utilizados na indústria da construção civil são os tijolos, telhas, azulejos e louças sanitárias. Além de serem utilizados na construção civil, podem ser utilizados na elaboração de produtos artesanais, como louças de mesa e esculturas, e também no ramo industrial siderúrgico, que utiliza os cerâmicos refratários devido a sua característica de manter resistência em altas temperaturas (BUSTAMANTE & BRESSIANI, 2000).

2.2.1 Cerâmica Vermelha

Segundo Tavares e Grimme (2002), a cerâmica vermelha, também conhecida como estrutural, é um produto cerâmico produzido através de processos de extrusão

e prensagem, na qual são utilizados teores de argila entre 25% e 70% da composição total das massas. Estas compõem a maior parte dos materiais cerâmicos vermelhos pela sua capacidade de reterem água e moldarem-se sob atuação de pequenos esforços, propriedades fornecidas pela baixa granulometria das argilas.

As argilas utilizadas nas composições das cerâmicas vermelhas apresentam grande variabilidade e complexidade composicional, dependendo das suas formações geológicas e dos locais de extração. Porém, a falta de tecnologia presente das indústrias cerâmicas brasileiras impedem o fornecimento adequado acerca dos tipos e propriedades das argilas, características importantes para o estabelecimento de formulações e para a definição de condições de processamento adequadas, tendo em vista que as propriedades dos produtos finais estão diretamente relacionadas às características iniciais das matérias-primas. O investimento em tecnologia para esse setor implicaria em redução de custos de produção e aumento dos valores agregados dos produtos (MACEDO et al., 2008).

2.2.1.1 Blocos cerâmicos utilizados na construção civil

Os blocos cerâmicos podem ser maciços ou vazados, sendo geralmente obtidos a partir da mistura da argila com água, seguida de secagem e queima. Para a elaboração de blocos cerâmicos com propriedades físicas e mecânicas melhoradas, devem ser feitos experimentos com amostras de diferentes dosagens experimentais, inserindo novas substâncias às misturas base e submetendo-as a diferentes métodos de secagens e queimas, a fim de identificar o material ideal em função da necessidade dos blocos cerâmicos em estudo. Para isso, ter um ambiente adequado de estudo e profissionais capacitados é de grande importância para o estudo e desenvolvimento dos materiais de construção (MOTA, 2006).

As Normas Brasileiras (NBR) 15270-1, 15270-2 e 15270-3 de 2005 determinam diretrizes para fabricação, comercialização, caracterização física, geométrica, mecânica e de absorção de água dos blocos cerâmicos para alvenaria de vedação e alvenaria estrutural, além de instruir a execução de ensaios para testá-los. Segundo a NBR 15270/2005, os blocos cerâmicos devem ser fabricados por

conformação plástica de matéria-prima argilosa, podendo ou não conter aditivos, seguida da queima a elevadas temperaturas. Devem possuir forma de um prisma reto, sem apresentar defeitos como quebras, superfícies irregulares ou deformações que impeçam seu emprego na função para a qual foi fabricado.

Os blocos cerâmicos vazados são muito utilizados na indústria da construção brasileira. Esses estão bastante ligados à cultura construtiva, que em sua maioria continua rejeitando as novas tecnologias de alvenaria que surgem. Podem possuir função de vedação em fechamento de vãos ou ainda função estrutural (SALVADOR FILHO, 2007).

Quando utilizados em alvenarias de vedação, os blocos cerâmicos com furos horizontais devem possuir resistência à compressão maior ou igual a 1,5MPa e índice de absorção de água (AA) entre 8% e 22%. Podem possuir furos cilíndricos ou prismáticos e devem conter em cada uma de suas faces externas a identificação do fabricante e do bloco, conforme especificações da NBR 15270-1/2005.

2.2.1.2 Telhas

Segundo Andrade (2009), a massa argilosa das telhas é conformada normalmente por extrusão, resultando em um produto final que é bastante empregado como componente de coberturas de edificações. Uma distribuição granulométrica adequada é essencial para a obtenção de um produto final com a qualidade desejada, além de um rígido controle de verificação de fissuras, quebras, rebarbas ou quaisquer defeitos que prejudiquem o encaixe das telhas.

As coberturas são parte essencial às edificações, protegendo a própria edificação e os usuários dos efeitos do clima. As telhas devem apresentar além de desempenho estrutural, bons desempenhos térmico, acústico, entre outros, tendo em vista que o conforto térmico e até mesmo o consumo de energia são influenciados diretamente pelo tipo de telha a ser utilizada. Portanto, a escolha da telha ideal pode variar com a região da edificação (PERALTA, 2006).

A cor vermelha característica das telhas convencionais é fornecida pelo processo de oxidação do ferro, manifestando-se de forma mais intensa conforme

maior for a quantidade desse na massa cerâmica. Já a uniformidade da peça varia com a distribuição granulométrica da massa (OLIVEIRA, 2000).

A telha cerâmica tipo capa e canal, com peças nos formatos côncavo e convexo, é a mais comum nas linhas de produção das empresas do ramo. Também destacam-se as telhas portuguesas e romanas, que apresentam um ótimo rendimento de peças por metro quadrado (ANDRADE, 2009).

2.2.2 Cerâmica Refratária

As cerâmicas refratárias são bastante utilizadas em processos siderúrgicos e na fabricação tijolos por possuir boa durabilidade, proporcionada pela alta resistência aos ataques químicos gerados por gases ou líquidos que possam danificar a estrutura. Tais materiais são ainda caracterizados por possuírem elevadas resistências mecânicas e resistirem a deformações em altas temperaturas (TIBA et al., 2009).

Os tijolos refratários, utilizados amplamente na fabricação de fornos e churrasqueiras, são compostos por materiais que diminuem a porosidade e aumentem a densidade da massa, possibilitando a utilização desses em altas temperaturas. Devido a sua pouca porosidade e alta densidade, não é recomendado o uso desses materiais em paredes de vedação, pois possuem baixa resistência à compressão (MASSON et al., 2016).

2.2.3 Cerâmica Branca

O setor de cerâmica branca abrange uma grande variedade de produtos, como louças, porcelanas utilitárias, decorativas ou técnicas, sanitários, pias, entre outros. As massas mais usuais para a fabricação de cerâmicas brancas são dos tipos compostas, formadas pela mistura de argila plástica de queima branca, pelo feldspato, caulim e quartzo (MOTTA et al., 2001).

Sua coloração, que varia entre tonalidades de branco, rosa e creme, é resultado dos baixos teores de óxido de ferro presentes nos produtos cerâmicos após a sinterização. No Brasil, a indústria de cerâmica branca lida com a escassez de jazidas de argilas plásticas com qualidade semelhante às fornecidas pelas jazidas estrangeiras. Porém, o litoral paraibano se destaca como um dos depósitos de argila plástica para cerâmica branca (SOUZA, 2007).

2.2.4 Revestimentos cerâmicos

Segundo Cabral Junior et al. (2010), o setor de revestimentos cerâmicos é responsável por fornecer materiais para a construção civil em forma de placas para serem utilizados como itens de decoração e acabamento em paredes, pisos, bancadas, piscinas, entre outros, tanto em ambientes internos como externos, recebendo nomes comerciais como pastilhas, porcelanatos, ladrilhos e pisos. Características como durabilidade, resistência mecânica, facilidade de limpeza e resistência a líquidos e chamas, aliadas a uma grande variedade de cores e acabamentos, fazem os revestimentos cerâmicos serem amplamente utilizados pela indústria da construção civil.

Para o bom desempenho dos materiais cerâmicos, é necessário utilizá-los de forma adequada cada ambiente, analisando as propriedades dos materiais, como resistência à abrasão e impactos, o clima da região e o local no qual planeja-se a aplicação. Também é imprescindível um assentamento de qualidade e uma boa manutenção das peças. O processo de fabricação dos revestimentos cerâmicos é semelhante à fabricação das demais cerâmicas, sendo obtidos basicamente por moldagem, secagem e queima da massa argilosa, diferenciando-se pela adição do processo de esmaltação, onde são atribuídas cores e decorações às peças cerâmicas por meio de corantes (SILVA et al., 2015).

2.3 Rochas ornamentais e sua dinâmica produtiva e comercial no Brasil

A extração mineral no Brasil é uma atividade de grande potencial, tendo em vista a grande extensão territorial do país e o histórico de sucesso em exploração e negociações nesse ramo, que exporta inclusive para países como Estados Unidos e China. Os materiais extraídos da natureza podem ser utilizados em suas formas naturais ou podem passar por processos que vão resultar na agregação de valores para esses, como é o caso das rochas ornamentais (BRASIL, 2016).

O setor de rochas ornamentais no Brasil é essencialmente formado por micro e pequenas empresas, que executam serviços como beneficiamento e acabamento, ficando muito distante da realidade do setor mineral. Na construção civil, as rochas são em sua maioria utilizadas como material de revestimento para pisos, paredes, soleiras e mesas. Porém, podem ser utilizadas com outras finalidades, como na arte funerária e na elaboração de objetos decorativos e obras de arte (BRASIL, 2009).

As rochas ornamentais são materiais rochosos naturais submetidos, após a lavra, a tratamentos de beneficiamento a fim de serem utilizadas com finalidade estética, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da NBR 15012/2003. No cenário de produção nacional de rochas ornamentais, no ano de 2014, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, a região Sudeste foi responsável por 64% da produção nacional e a região Nordeste por 26% (ABIROCHAS EM NOTÍCIA, 2015).

Segundo a Associação Brasileira de Rochas Ornamentais (Abirochas), no ano de 2016 o perfil das exportações brasileiras de rochas foi composto em sua essência por granitos, mármore, quartzitos e ardósias, comercializados em forma de blocos, chapas, filetes ou acabados, somando 2,46 milhões de toneladas e representando 0,61% de participação no total do faturamento das exportações brasileiras (CHIODI FILHO, 2017).

2.3.1 Mármore

Para Vargas et al. (2001), mármore são rochas metamórficas de composição carbonática, porém, sob o ponto de vista comercial, incluem também as rochas carbonáticas sedimentares. Devido a essa composição, podem ser cortados sem a necessidade de serras diamantadas e são de fácil polimento. No cenário nacional de comércio de rochas ornamentais, o mármore é uma das rochas mais consumidas, ficando apenas atrás do consumo interno do granito (CHIODI FILHO, 2015).

Segundo Costa et al. (2000), os mármore apresentam granulação variando de fina a média, podendo apresentar grande variabilidade de cores. Porém, Frangella (2003) e Vargas et al. (2001) afirmam que os mármore são mais sensíveis à abrasão e desgaste químico do que o granito.

2.3.2 Granito

O granito é uma rocha ígnea constituída principalmente por feldspato, mica e quartzo. As proporções dos minerais presentes nos granitos definirão as variedades de cores que esses podem ter. Nos granitos de cores escuras, predominam os minerais máficos, enquanto nos granitos de cores claras predomina o mineral quartzo (COSTA FILHO, 2016).

São rochas ornamentais resistentes, classificadas como material de luxo e que não perdem o brilho do polimento com o passar dos anos (VARGAS et al., 2001), possuindo granulação fina a grossa, estrutura compacta e boa resistência mecânica, além de um bom grau de dureza. São bastante utilizados na elaboração de soleiras, bancadas, contramarcos, placas e peças de ornamentação (MAURO, 2011).

2.3.3 Quartzito

O quartzito é uma rocha originada de processos metamórficos que se desenvolveram em rochas sedimentares, possuindo em sua composição a maior parte formada pelo mineral quartzo. Por possuírem elevados teores de quartzo, são rochas resistentes à abrasão e são duras ao corte (MENEZES & LARIZZATTI, 2005).

Possuem granulação fina a média, contendo também em sua constituição minerais como mica, biotita, moscovita e feldspato. São esses minerais que em determinadas quantidades contribuirão para a existência de diferentes colorações de quartzitos, sendo as mais comuns comercialmente os tons de neve e cinza (VIERA et al., 2013).

Essas rochas são caracterizadas por não reterem grandes quantidades de calor quando expostas ao sol, sendo por isso conhecidas como pedras atérmicas ou pedras frias (AMORIM, 2012). Os quartzitos apresentam textura favorável para a drenagem da água, o que diminui o risco de empoçamentos de água e permite sua utilização em locais que exijam acabamento antiderrapante, além serem inertes a alterações mediante a ação de produtos de limpeza, devido a inexistência de minerais reativos (CHIODI FILHO & RODRIGUES, 2009). São bastante usados em revestimentos internos e externos de paredes e pisos e também na confecção de mesas e móveis quando são polidos, sendo portanto cada vez mais procurados por arquitetos e engenheiros para comporem projetos paisagísticos (VIDAL et al., 2013).

2.4 Quartzito do Seridó

Ainda que não detenha a maioria da produção nacional de rochas ornamentais do Brasil, a região do Semiárido apresenta a maior diversidade geológica do país, com destaque para os estados do Ceará, Bahia e Paraíba como os três maiores produtores da região Nordeste (SANTOS et al. 2014). A microrregião do Seridó, localizada no Semiárido Nordeste entre os estados da Paraíba e do Rio

Grande do Norte, é responsável por uma grande contribuição à mineração do País, fornecendo rochas ornamentais de diversos tipos, dentre elas o quartzito.

No Seridó paraibano, os quartzitos são distribuídos em camadas originalmente horizontais ou tombadas verticalmente, com espessuras na ordem de decímetros ou metros e de cores variadas, sendo os tipos menos porosos os mais resistentes (CIRILO et al., 2016). São extraídos da natureza através de desmontes explosivos e de ferramentas como ponteiros e marretas, métodos em sua maioria artesanais que geram grande desperdício de material (VIDAL et al., 2013).

O beneficiamento do quartzito na Paraíba ainda acontece de forma informal em sua maior parte, resultando por muitas vezes em produtos com acabamentos de pouca qualidade e valor agregado, com retorno de capital aquém do que as grandes reservas naturais do estado poderiam gerar. A maior parte do lucro acaba indo para os exportadores que dispõem de melhores tecnologias de beneficiamento das rochas (AMORIM, 2012).

Como em todo o comércio de rochas ornamentais, as cores dos quartzitos são de grande importância na agregação de valor no mercado, sendo um dos principais critérios na escolha da aplicação. No município de Várzea-PB, na Serra da Porção, predominam os quartzitos de cores amarela, azul, branca e cinza, enquanto no município do Junco do Seridó-PB, na Serra da Carneira, predominam os quartzitos nas variações dos tons de rosa e verde (CIRILO et al., 2016).

Segundo Souza (2015), as principais áreas para extração de quartzitos na Paraíba estão localizadas na província Borborema, entre os municípios do Junco do Seridó e Várzea, onde se observa intensa extração de lajotas quadradas ou retangulares de quartzito. Porém, a inexistência de estudos e levantamentos geológicos prévios das áreas mineiradas causam vários impactos ambientais, como desmatamento e descaracterização do relevo (NASCIMENTO, 2015), comprometendo o desenvolvimento sustentável da região.

2.4.1 Resíduos sólidos gerados pela lavra e beneficiamento do Quartzito na cidade de Junco do Seridó – PB

O quartzo é um dos minerais mais abundantes no planeta e responsável por compor a maioria da estrutura dos quartzitos. Possui grande estabilidade térmica e química, o que contribui para as características de pedra fria e de alta resistência à ação de produtos químicos nos quartzitos. Possui resistência de sete pontos na Escala de dureza Mohs, ficando acima de rochas como granito e mármore, o que contribui com a resistência a riscos nos quartzitos (OLIVEIRA, et al., 2002).

A cidade do Junco do Seridó está localizada na microrregião do Seridó, no interior do estado da Paraíba. Distante 230Km da capital João Pessoa, a cidade possui população estimada em 7.165 pessoas e um PIB per capita superior ao índice médio do estado, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2017. A Serra da Carneira está localizada em parte nos limites geográficos da cidade de Junco do Seridó, fornecendo para a construção civil quartzitos de diversas tonalidades. Diante da privilegiada localização, sob a ótica da mineração, as explorações de rochas e minérios constituem um dos suportes econômicos da cidade (LUCENA et al., 2017). A figura 1 ilustra a localização geográfica da cidade de Junco do Seridó.

Figura 1: Localização geográfica da cidade de Junco do Seridó.



FONTE: Google Earth (2017)

Diante as diversas vantagens já expostas sobre a utilização das matérias-primas alternativas, os resíduos de quartzito chamam a atenção dos moradores e visitantes da cidade de Junco do Seridó. Quem chega à cidade avista nas margens da BR-230 placas de quartzitos expostas para venda. As rochas são extraídas da natureza e passam por processos de corte e acabamentos antes de serem comercializadas. Amorim (2012) explica que tais processos de produção e venda são, em sua maioria, geridos por cooperativas que já possuem apoio de órgãos como o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE).

A exploração de rochas ornamentais movimenta em torno de 200 milhões de reais por ano no Estado da Paraíba, segundo dados do Departamento Nacional de Produção Mineral em 2010 (BRASIL, 2012). Porém, a falta de qualificação e de utilização de novas tecnologias de extração impede esse número de ser maior. Os mineradores acabam mais susceptíveis a acidentes de trabalho e a enfermidades, como a silicose, que atinge os pulmões devido à inalação de quantidades prejudiciais de pó de sílica (BARBOSA et al., 2011). A Figura 2 ilustra o resíduo fino de quartzito do município de Junco do Seridó.

Figura 2: Resíduo fino de quartzito.



FONTE: Carreiro (2016)

A Cooperativa dos Mineradores de Junco do Seridó (COOPERJUNCO) visa melhorar as condições de trabalho dos garimpeiros, adquirir áreas legalizadas e agregar valor aos minerais e rochas extraídas. Tal cooperativa vende os minerais principalmente para as serrarias de quartzito e as beneficiadoras de caulim instaladas na própria cidade. Já os quartzitos beneficiados, em tamanhos e cores variadas, são vendidos a clientes finais que preferem adquirir um material que não esteja no estado bruto, geralmente da própria região do Seridó paraibano e potiguar (GONÇALVES, 2013).

A reutilização dos resíduos de quartzito que são desperdiçados na produção de rochas ornamentais no Junco do Seridó poderia além de minimizar os impactos ao meio ambiente, promover o desenvolvimento do setor de materiais de construção e contribuir com o desenvolvimento social e econômico da região. No âmbito social, a cidade carece da criação de planos de trabalho em que haveria gerenciamento dos processos e equipamentos, desde as etapas de extração até a coleta dos resíduos de quartzito para serem reutilizados, e investimento na gestão das pessoas que trabalham na mineração, possibilitando melhores condições de segurança e saúde no trabalho (NASCIMENTO, 2015).

No tocante a economia, faz-se necessário o aumento de investimentos em capacitação tecnológica (NASCIMENTO, 2015) o que possibilitaria um melhor e maior aproveitamento das rochas ornamentais e seus resíduos, agregaria valor aos produtos finais comercializados (AMORIM, 2012), geraria empregos e aumentaria, conseqüentemente, a visibilidade do município no cenário nacional da produção mineral. A empresa Tecquímica, localizada no município de Várzea-PB, é um exemplo em trabalho de reaproveitamento de resíduos da mineração, investindo em tecnologias como britadores e misturadores (ARAÚJO, 2014).

A venda dos resíduos de rochas ornamentais de quartzito pode então se tornar uma alavanca para o crescimento do setor. Além do reaproveitamento dos materiais que são descartados nas etapas de produção das rochas ornamentais, como o pó fino e os fragmentos de rochas, algumas placas que são consideradas defeituosas podem ter uma finalidade que não seja o descarte. Defeitos como trincas, arranhões, cantos quebrados ou manchas de ferrugem causadas por contato com substâncias contendo ferro e água podem ser suficientes para tornarem as pedras inutilizáveis. Porém, tais materiais podem ser revendidos e revertidos em

novos produtos conforme as necessidades dos clientes (MATTOS, 2002). A Figura 3 ilustra os resíduos finos e os resíduos grossos de quartzitos, descartados lado a lado.

Figura 3: Resíduo grossos e finos de quartzito.



FONTE: Carreiro (2016)

Os resíduos mais finos são gerados nas etapas de corte, onde se juntam com a água utilizada pelas máquinas e são descartados como efluentes, como afirma Amorim (2012), ou se dispersam pelo ar, cobrindo as paisagens próximas às serrarias com uma camada branca de pó. Os resíduos mais grossos são gerados nas etapas de corte e de explosões das rochas (SANTOS et al., 2014), onde, mesmo sendo altamente resistentes à ruptura e ao impacto, dependendo dos planos de fraqueza das rochas podem se quebrar em tamanhos que não são reaproveitados nas serrarias (MENEZES & LARIZZATTI, 2005).

2.4.2 Aproveitamento de resíduos de quartzito na construção civil

Segundo Ângulo et al. (2001), o conceito de sustentabilidade tem sido cada vez mais discutido e explorado pela indústria da construção civil. A procura por produtos que poderiam ser reutilizados na produção de novos materiais e que teriam

sucesso no mercado passa a receber a atenção dos empresários que procuram inovar no setor.

As rochas ornamentais são bastante utilizadas na construção civil e em suas cadeias produtivas há grandes quantidades de perdas, que chegam até a 75%. Além da grande quantidade de desperdício, o meio ambiente sofre com os descartes dos resíduos grossos em locais inapropriados e com a emissão de resíduos finos no meio ambiente, potencializada pelo funcionamento da maioria das pedreiras brasileiras a céu aberto (CAMPOS et al., 2009).

O aproveitamento de rochas ornamentais na produção de novos materiais para a indústria da construção civil é uma forma de desenvolvimento sustentável que alia o constante crescimento do setor à preocupação com o meio-ambiente (CAMPOS et al., 2009), resultando na redução das quantidades de materiais que são comumente depositados em aterros, margens de rios e terrenos baldios ao final de suas vidas úteis e fornecendo a esses novas perspectivas de aplicações. Consequentemente, gera retorno financeiro e economia para o próprio setor por meio da utilização dos materiais reciclados (JOHN et al., 2001).

Dentre as rochas ornamentais, o quartzito destaca-se pelo potencial de reutilização dos seus resíduos na construção civil. Produtos como argamassas, pré-moldados e mosaicos podem ser produzidos com a adição dos resíduos de quartzito, possibilitando uma destinação ecologicamente correta para os rejeitos finos e grossos da rocha e agregando valor para o material. A aplicação dos resíduos de quartzito nas massas cerâmicas baseia-se na substituição de parte dos componentes não plásticos que convencionalmente são utilizados na produção dos materiais citados (VIERA et al., 2013).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

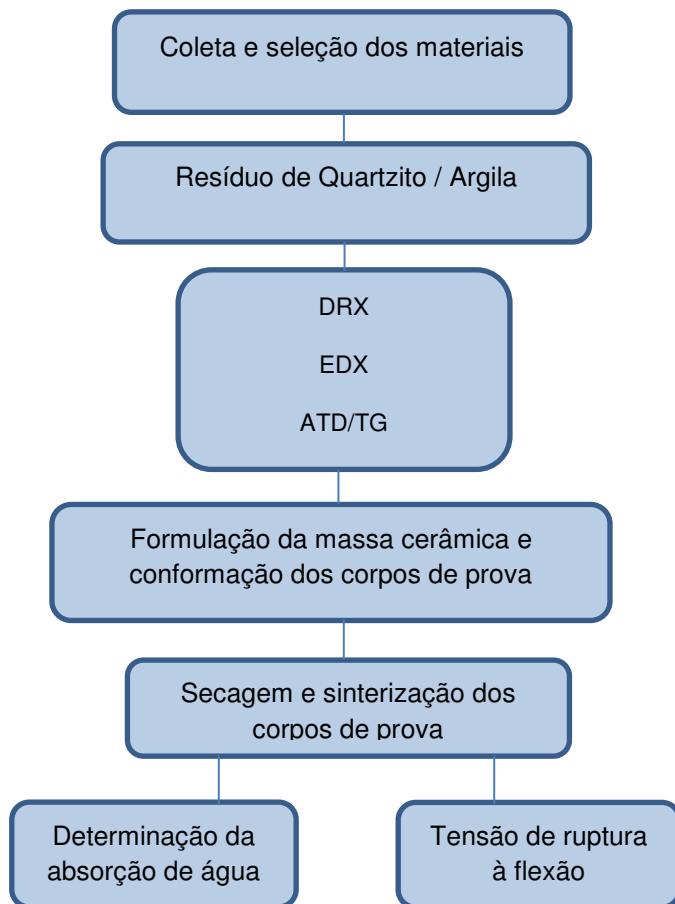
Os Materiais utilizados neste projeto foram:

- Argila: proveniente do município de Alhandra-PB, fornecida pela indústria ARMIL MINÉRIOS LTDA.
- Resíduo de quartzito em pó: proveniente do município de Junco do Seridó-PB.

3.2 Metodologia

A Figura 4 ilustra o fluxograma das etapas da pesquisa.

Figura 4: Fluxograma das etapas da pesquisa.



FONTE: Dados da pesquisa (2017).

3.2.1 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 a 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 e em seguida estiveram sendo secas e passadas em peneiras ABNT N° 80.

3.2.2 Caracterização química, física e mineralógica dos materiais

Foram realizadas as caracterizações química, física e mineralógica das matérias-primas utilizadas neste trabalho por meio de ensaios de fluorescência de raios-X, análise térmica diferencial e termogravimétrica, difração de raios-X e análise granulométrica.

3.2.2.1 Difração de raios-X (DRX)

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 de $3^\circ < 2\theta < 60^\circ$ e com velocidade de varredura de $2^\circ/\text{min}$.

3.2.2.2 Caracterização Química: Fluorescência de raios-X (EDX)

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

3.2.2.3 Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimétrica (TG)

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

3.3 Beneficiamento dos materiais e formulação das massas

Os materiais foram beneficiados e as composições formuladas, segundo a metodologia de delineamento de misturas do planejamento experimental, contendo argila, resíduo de quartzito para avaliar a viabilidade da mistura dessas matérias-primas para a produção de blocos cerâmicos.

3.4 Conformação dos corpos de prova

As matérias-primas foram extrudadas em extrusora (marca Verdés, modelo 51), sendo confeccionados corpos de prova com as dimensões de 10cm x 2cm x 1cm (comprimento x largura x espessura) para a determinação das propriedades físico-mecânicas. Os teores de umidade estiveram compreendidos no intervalo de 18% a 22%. Foram moldados cinco corpos de prova para cada porcentagem de quartzito estudada e para cada propriedade a ser determinada. A distribuição homogênea da água no interior da massa se deu através da maceração. Para melhorar a trabalhabilidade, o início da moldagem dos corpos de prova foi realizado 72 horas após o umedecimento das massas.

3.5 Processo de sinterização

Os corpos de prova cerâmicos obtidos por extrusão foram secos em estufa (110°C por 24 h). A queima foi realizada em temperaturas de 800°C e 900°C, sob taxa de aquecimento de 10°C/min.

3.6 Determinação das propriedades físicas e mecânicas

A partir da produção dos corpos de prova cerâmicos, foram determinadas as seguintes propriedades: absorção de água, retração linear, massa específica aparente, porosidade aparente e tensão de ruptura à flexão em carregamento de três pontos, com velocidade de deslocamento do braço de aplicação da carga de 0,5mm/min, de acordo com a norma ABNT NBR 13818/1997.

Os resultados finais foram obtidos a partir das médias aritméticas de cinco corpos de prova, sendo comparados com os valores estabelecidos pela norma NBR 13818/1997. Foram realizados ensaios de caracterização mineralógica e microestrutural dos corpos de prova sinterizados, dentre eles: difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

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

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para o ensaio de análise química das matérias-primas em estudo.

Tabela 1: 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

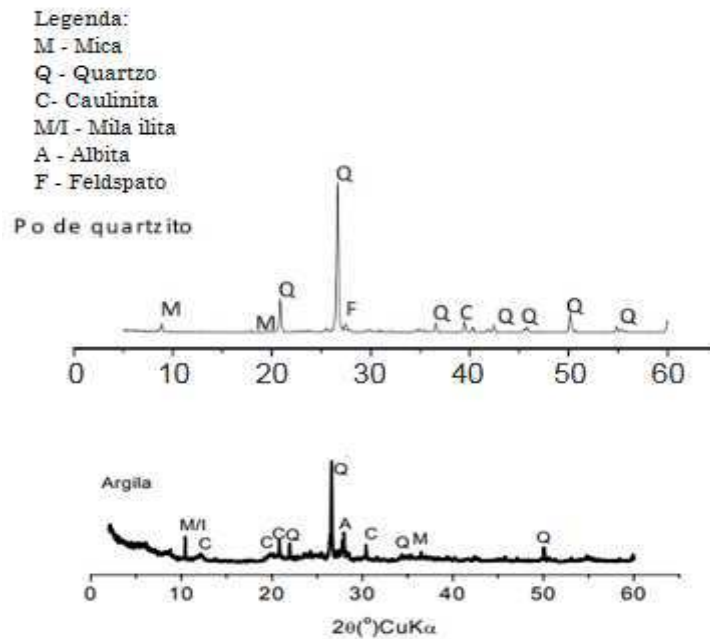
PF: Perda ao Fogo.

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 5 ilustra os resultados obtidos para a difração de raios-X das matérias-primas em estudo.

Figura 5: Difratoograma de raios-X das matérias-primas em estudo.

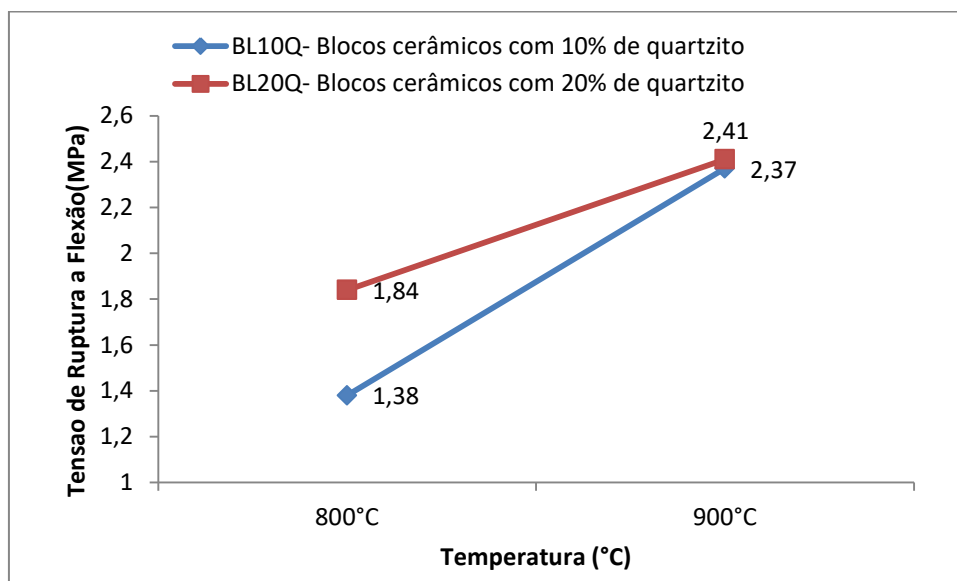


FONTE: Dados da pesquisa (2017)

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

A Figura 6 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 6: Tensão de ruptura à flexão dos corpos de prova das composições em estudo.



FONTE: Dados da pesquisa (2017)

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a composição com maior teor de resíduo de quartzito apresentou melhor resultado para o módulo de ruptura, especialmente para a temperatura de queima de 900°C.

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

Os resultados obtidos neste estudo corroboram com os valores alcançados por Moreira et al. (2008), que estudaram a incorporação de resíduos de rochas ornamentais em massas da cerâmica vermelha.

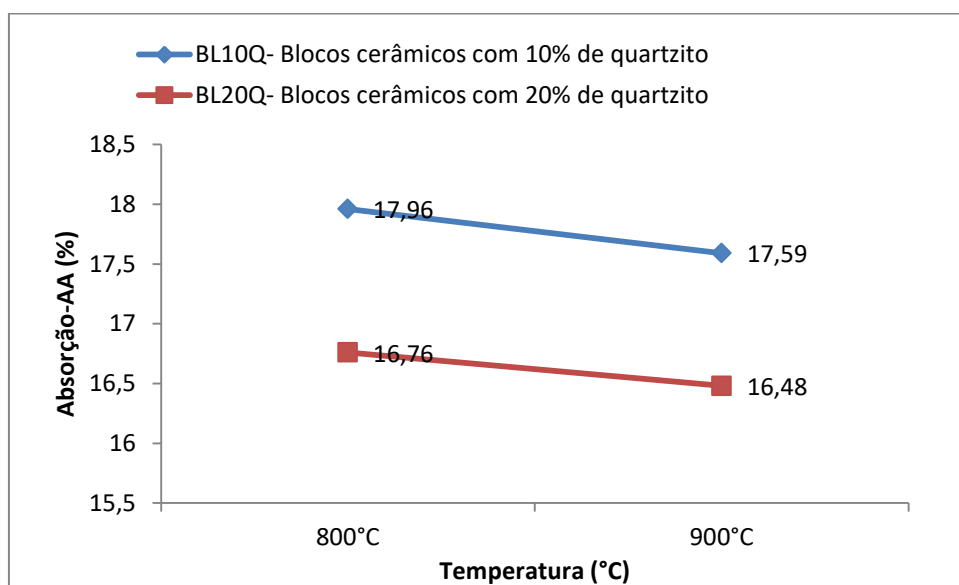
Mendonça (2012) avaliou as propriedades físicas e mecânicas de blocos cerâmicos incorporados com resíduos de rochas ornamentais e observou que o aumento de teores destes resíduos contribui para um melhor empacotamento, além de analisar que uma composição química com percentuais de óxido de silício elevados contribui para formação de fase vítrea e melhoria das propriedades mecânicas de peças cerâmicas.

A utilização de percentuais de resíduo de quartzito, como os utilizados neste estudo em composições cerâmicas, contribui para a redução dos custos de produção, minimiza o consumo de matérias-primas convencionais e

consequentemente os índices de extração das mesmas, além de reduzir o impacto ambiental originado do descarte deste resíduo no meio ambiente.

A Figura 7 ilustra a absorção de água dos corpos de prova de revestimentos cerâmicos incorporados com resíduo de quartzito nos teores de 10% e 20%.

Figura 7: 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)

Conforme resultados obtidos, verifica-se que o aumento do percentual de resíduo de quartzito ocasionou a redução da absorção de água dos blocos cerâmicos em estudo, obtendo-se os melhores resultados para a composição contendo 20% de resíduo de quartzito a temperatura de 900°C.

De acordo com Santos (1992), o valor máximo de absorção para telhas é de 20% e para tijolos é na faixa de 8% a 22%. Sendo assim, os resultados obtidos para a absorção de água dos blocos deste estudo atendem aos parâmetros estabelecidos para produtos da cerâmica vermelha.

Vieira (2013) avaliou propriedades de peças cerâmicas contendo resíduo de rochas ornamentais e verificou que com relação à porosidade, pode-se inferir que não houve variação significativa com a adição do resíduo; no entanto, para a resistência mecânica, na faixa de 1000°C, as composições contendo resíduo apresentaram os melhores valores, o que pode estar relacionado com a presença do

K_2O , maior quantidade de SiO_2 e menor quantidade de Al_2O_3 , fatores que podem ter contribuído para a diminuição da temperatura eutética e o aumento da fluidez da fase líquida, com menor viscosidade, acelerando a cinética das reações.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos, pode-se considerar que:

O resíduo de quartzito apresenta propriedades físicas, químicas e mineralógicas que permite sua utilização como componente de composições cerâmicas por possuir composição similar às matérias-primas convencionais que são utilizadas com esta finalidade.

A incorporação do resíduo de quartzito contribuiu para a elevação da resistência a flexão dos blocos cerâmicos produzidos neste estudo, indicando que o teor de 20% de incorporação contribui para uma melhoria da resistência mecânica, especialmente em temperaturas de queima mais elevadas.

A absorção de água dos blocos cerâmicos sofreu uma redução quando houve nesses a incorporação de teores de 20% de resíduo de quartzito, verificando-se que quanto maior o teor de incorporação, menor a absorção, especialmente em temperaturas de queima mais elevadas.

5.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

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

REFERÊNCIAS

ABIROCHAS (Brasília-df). Associação Brasileira de Rochas Ornamentais (Org.). **Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento: Variação Percentual em Peso e Valor e do Preço Médio no Período Janeiro-Março 2016-2017**. Elaborada por Kistemann & Chiodi Assessoria e Projetos.

ABIROCHAS EM NOTÍCIA. São Paulo: Abirochas, v. 1, n. 2, abr. 2015. Trimestreal.

AMORIM, M. L. C. M. **Proposta de tratamento e aproveitamento dos resíduos provenientes de uma unidade industrial de beneficiamento de quartzito**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.

ANDRADE, Felipe Lira Formiga. **Estudo da formulação de massas cerâmicas provenientes da região do Seridó-RN para fabricação de telhas**. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli; ZORDAN, Sérgio Edurado; JOHN, Vanderley Moacyr. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. In: **IV SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL - MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES**, 206., 2001, São Paulo. Anais... . São Paulo: Ibracon, 2001. p. 43 - 56.

ARAÚJO, Jordânia Maria de; FREIRE, Ayalla Cândido. **Governança local: trajetória do arranjo produtivo local de quartzito em várzea/pb**. 2014. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração, Universidade Estadual da Paraíba, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15012**: Rochas para revestimento de edificações - Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 15270-3**: Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

BARBOSA, Mário Silveira de Almeida et al. Silicose em trabalhadores de quartzito da região de São Thomé das Letras – Minas Gerais: dados iniciais indicam um grave problema de saúde pública. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v. 36, n. 123, p.177-184, 2011.

BOTELHO, Wagner Costa; BOTELHO, Renata Maciel; VENDRAMETTO, Oduvaldo. A inovação tecnológica na construção de edifícios: qualificação da mão-de-obra e gestão dos resíduos de gesso acartonado. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 29., 2009, Salvador. A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão. Salvador: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2009. p. 1 - 15.

BRASIL. Adolpho José Melfi. Academia Brasileira de Ciências (Org.). **Recursos Minerais no Brasil**: Problemas e desafios. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2016. 420 p.

BRASIL; DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (2012). **Sumário Mineral 2010**, v. 30. Brasília: DNPM /MME, 128 p.

BRASIL; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2009) Perfil de Rochas Ornamentais e de Revestimento. **Relatório Técnico 33**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 101 p.

BUSTAMANTE, Gladstone Motta; BRESSIANI, José Carlos. A indústria cerâmica brasileira. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 3, n. 5, p.31-36, maio 2000.

CABRAL JUNIOR, Marsis; BOSCHI, Anselmo Ortega; MOTTA, José Francisco Marciano; TANNO, Luiz Carlos; SINTONI, Ayrton; COELHO, José Mário; CARIDADE, Marcelo. Panorama e Perspectivas da Indústria de Revestimentos Cerâmicos no Brasil. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 15, n. 3, p.7-18, jun. 2010. Bimestral.

CAMPOS, Antonio Rodrigues de; CASTRO, Nuria Fernández; VIDAL, Francisco W. Hollanda; BORLINI, Mônica Castoldi. Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e de revestimento, visando mitigação de impacto ambiental. In: XXIII SIMPÓSIO GEOLOGIA DO NORDESTE; **VII SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE**, 2009, Fortaleza. Anais... . Fortaleza: Cetem/mct, 2009. p. 9 - 18.

CARREIRO, M. E. A. et al. Resíduo de quartzito - matéria-prima alternativa para uso em massas de cerâmica estrutural. **Cerâmica: Associação Brasileira de Cerâmica**, São Paulo, v. 62, n. 362, p.170-178, jun. 2016.

CARREIRO, Marcos Emmanuel Araujo. **Estudo da viabilidade da incorporação de resíduo de quartzito na massa cerâmica vermelha**. 2016. 70 f. Dissertação

(Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2016.

CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável); PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente). **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas**. Ministério do Meio Ambiente, Governo Federal, 2014.

CHIODI FILHO, Cid; RODRIGUES, Eleno de Paula. **GUIA DE APLICAÇÃO DE ROCHAS EM REVESTIMENTOS**. São Paulo: Abirochas, 2009. 119 p.

CHIODI FILHO. Abirochas (Org.). **Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2016**. Brasília/DF: Abirochas, 2017. 13 p.

CHIODI FILHO. Abirochas. **Balanço das Exportações, Importações, Produção e Consumo Interno Brasileiro de Rochas Ornamentais em 2014**. Brasília/DF: Abirochas, 2015. 19 p.

CIRILO, Rayane de Lima; MOURA, Elissandra Nascimento de; VIEIRA, Fabrício Fernandes. Influência da porosidade no uso de quartzitos coloridos do seridó paraibano. In: **IX Simpósio de rochas ornamentais do nordeste / IV Simpósio de minerais industriais do nordeste**, 9/4., 2016, João Pessoa/PB. Anais... . [s. L.]: Cetem, 2016. p. 1 - 9.

COSTA FILHO, Josimar Andrade. **Etapas para beneficiamento do granito na indústria**. 2016. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Química Industrial, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/PB, 2016.

COSTA, Antônio Gilberto; CAMPELLO, Marcos Santos; PIMENTA, Vitor Brugnara. Rochas ornamentais e de revestimento de minas gerais: principais ocorrências, caracterização e aplicações na indústria da construção civil. **Geonomos**, Minas Gerais, v. 8, n. 1, p.9-13, 2000.

FERNANDES NETO, Silvana; SILVA, Tainara T. Santiago; SANTOS, Joelma Sales dos. Impactos ambientais causados pela disposição final de rejeitos provindos da mineração de quartzito na Paraíba. In: SEMANA OFICIAL DE ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 72., 2015, Fortaleza/CE. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, 2015. p. 1 - 4.

FRANGELLA, Jacinto. Usos, adequações e aplicações das rochas ornamentais e de revestimentos. In: ANAIS DO IV SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 16 A 19 DE NOVEMBRO DE 2003, 4, Fortaleza/CE. **IV SRONE**. Rio de Janeiro: Cetem/sbg, 2003. p. 12 - 20.

GOOGLE. Google Earth. Version 9.2.47.8, 2017. Disponível em: < <https://earth.google.com/web/>>. Acesso em: 12 de Outubro de 2017

GONÇALVES, Anderson Tiago Peixoto. **Análise da estrutura do arranjo produtivo local de pegmatitos e quartzitos da microrregião do Seridó paraibano**. 2013. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa/PB, 2013.

JOHN, V. M.; SATO, N.M.; AGOPYAN, N. V.; SJÖSTRÖM, C. Durabilidade e Sustentabilidade: Desafios para a Construção Civil Brasileira. In: **WORKSHOP ELETRÔNICO SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES**, 2., 2001. São José dos Campos. Anais... São José dos Campos, 2001. p. 105-111.

LINO, F. Jorge. **CERÂMICOS: Materiais em que vale a pena pensar**. 2006.

LUCENA, D.F.; AQUINO, I.B.M.; PONTES, E.D.M.; AMORIM, J.C.; AGUIAR, L.M.; MORAES, T.F.P. Aproveitamento de resíduos da lavra de quartzitos da região da serra da carneira-PB. In: **XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalúrgica Extrativa**, 27., 2017, Belém/PA: ENTMME, 2017.

MACEDO, R. S.; MENEZES, R. R.; NEVES, G. A; H.C. FERREIRA. Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v. 330, n. 54, p.411-417, jun. 2008.

MASSON, Alana Carolina; RENZI, Gabriela; SANTOS, Sergio dos; FLORIANI, Ricardo. ABSORÇÃO DE ÁGUA EM TIJOLOS ABSORÇÃO DE ÁGUA EM TIJOLOS. **Maiêutica**, Indaial, v. 2, n. 1, p.7-24, 2016.

MATTOS, Irani Clezar. Uso/adequação e aplicação de rochas ornamentais na construção civil – parte 1. In: **III Simpósio sobre rochas ornamentais do nordeste**, 3., 2002, Recife/PE. Anais... .Recife/PE: Cetem, 2002.

MATTOSINHO, C; PIONÓRIO, P. Aplicação da produção mais limpa na construção civil: uma proposta de minimização de resíduos na fonte. **International Workshop Advances in Cleaner production key elements for a sustainable World: energy, water and climate change**. São Paulo: May 20th – 22 nd, 2009.

MAURO, Giovanna Callegari. **Estudo do processo produtivo dos granitos no estado do espírito santo objetivando a aplicação destes na construção civil**. 2011. 55f. Monografia (Especialização em Construção Civil com ênfase em Gestão de Avaliações em Construções) – Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte.

MENDONÇA, A. M. G. D. Expansão por Umidade (EPU) em peças cerâmicas obtidas com massas cerâmicas alternativas contendo resíduo de caulim e granito. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Campina Grande, 121 fls, Campina Grande –PB, 2012.

MENEZES, R. R.; ALMEIDA, R. R.; SANTANA, L. N. L.; NEVES, G. A.; LIRA, H. L.; FERREIRA, H. C. Análise da co-utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos. **Cerâmica**, v.53, p.192-199, 2007.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002.

MENEZES, Ricardo Gallart de; LARIZZATTI, João Henrique. **Curso de especialização em mármore e granitos**: Rochas ornamentais e de revestimento: conceitos, tipos e caracterização tecnológica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2005. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MOREIRA, J.M.S., J.P.V.T. Manhães, J.N.F. Holanda, J. Mater. Proc. Technol. 196 (2008) 88.

MOTA, João Manoel de Freitas; **Influência da Argamassa de Revestimento na Resistência à Compressão Axial em Prismas de Alvenaria Resistente de Blocos Cerâmicos**. 2006. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE.

MOTTA, J.F.M. et. al. As matérias-primas cerâmicas. Parte II: Os minerais industriais e as massas da cerâmica tradicional. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.7, n.1, p. 33- 40, jan./fev. 2002.

MOTTA, José Francisco Marciano; ZANARDO, Antenor; CABRAL JUNIOR, Marsis. As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v. 6, n. 2, p.28-39, abr. 2001.

NASCIMENTO, Élide Medeiros do. **Avaliação de risco da exportação e beneficiamento de quartzito em várzea - pb**. 2015. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/pb, 2015.

NÓBREGA, R.M. J; FRITZ, M; SOUZA, G. C; **Inovações tecnológicas: aplicação de materiais cerâmicos na indústria automobilística**, XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção - Florianópolis, SC, Brasil, 03 a 05 de nov de 2004.

OLIVEIRA, A. P. N.; MONTEDO, O. R. K.; PIZETE, J. CASAGRANDE, M. Matérias-primas empregadas na fabricação de tijolos e blocos de construção: características e influência sobre as propriedades do produto final. **Cerâmica Informação**, n.10, p. 57-65, 2000.

OLIVEIRA, Clarice de; ARAÚJO, Adelson Paulo; MAZUR, Nelson. **FUNDAMENTOS DA CIÊNCIA DO SOLO IA 321: ROTEIRO DE AULAS PRÁTICAS**. 2002. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, Edieliton Gonzaga; MENDES, Osmar. **Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: Estudo de caso da Resolução 307 do CONAMA**. Universidade Católica de Goiás, Goiás, 2008.

PERALTA, Gizela. **Desempenho térmico de telhas: análise de monitoramento e normalização específica**. 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SALVADOR FILHO, José Américo A. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. 2007. 246f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SANTOS, Dênnys Araújo; GURGEL, Marcelo Tavares; MOTA, Andygley Fernandes; PAIVA, Francisco Ítalo Gomes. Extração mineral de quartzito e sua aplicabilidade na construção civil na cidade de várzea – pb. **Holos**, [s.l.], v. 4, p.89-100, 2 ago. 2014. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).

SANTOS, P. Souza, Ciência e Tecnologia de Argilas, Vol. 1, 2ª Ed., Edgar Blücher, S. Paulo (1992) 408 p.

SILVA, Marinilda Nunes Pereira da; SILVA, Marly Nunes Pereira da; BARRIONUEVO, Bruno de Uzeda Serralvo; FEITOSA, Igor Marinho; SILVA, Givanildo Santos da. Revestimentos Cerâmicos e suas aplicabilidades. **Cadernos de Graduação: Ciências exatas e tecnológicas**, Maceió, v. 2, n. 3, p.87-97, maio 2015.

SOUZA, Lana Lopes de. **Aproveitamento de resíduos de caulim em cerâmica branca**. 2007. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

SOUZA, Marcondes Mendes de. **Estudo da adição de resíduos de quartzitos para obtenção de grés porcelanato**. 2015. 111 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2015.

TAVARES, Sergio F.; GRIMME, Friederich W. Análise de processos produtivos em cerâmica vermelha – Estudo de caso comparativo entre Brasil e Alemanha. In: **Ix Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído**, 9., 2002, Foz do Iguaçu. Anais... . Foz do Iguaçu: Entac, 2002. p. 723 - 732.

TEIXEIRA, Luciene Pires. **A Indústria de Construção Brasileira sob a Ótica da Demanda Efetiva**. 2009. 288 f. Tese (Doutorado) - Curso de Economia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

TIBA, P. R. T.; TEIDER, B. H.; FIGUEIREDO, F.; J. B. GALLO; V. C. PANDOLFELLI. Seleção de refratários para fornos de cozimento de anodo. **Cerâmica**, São Paulo, v. 55, n. 335, p.113-119, jul. 2009.

VARGAS, Thais; MOTOKI, Akihisa; NEVES, José Luíz Peixoto. Rochas ornamentais do brasil, seu modo de ocorrência geológica, variedade tipológica, exploração comercial e utilidades como materiais nobres de construção. **Revista de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p.119-132, 2001.

VIDAL, F. W. H., PEREIRA, R. A., CASTRO, N. F., MENDES V. A., COSTA, J. C. A. Aprimoramento das técnicas de extração de quartzito do seridó paraibano. **Ambiente Mineral** – Revista Brasileira de Mineração e Meio Ambiente, v.3, n. 2, p. 29-38, 2013.

VIEIRA, C.M.F., R. Sanchez, S.N. Monteiro, N. Lalla, N.; Quaranta, J. Mater. Res.Technol. 2 (2013) 88.

VIERA, Elbert Valdiviezo; SOUZA, Marcondes Mendes de; GONZAGA, Lígia Mara. Caracterização dos resíduos da lavra de quartzitos da região do Seridó visando a produção de cerâmica para porcelanato. **Ambiente Minera: Revista Brasileira de**

Mineração e Meio Ambiente, Campina Grande/pb, v. 3, n. 1, p.16-24, 2013.
Semestral.