



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

**DESEMPENHO DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUO DE QUARTZITO**

KATYANE LEMOS DE LYRA MARQUES

Orientadora: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça.

Campina Grande-PB, 27/07/2018

**DESEMPENHO DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUO DE QUARTZITO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande-PB, 27/07/2018

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

KATYANE LEMOS DE LYRA MARQUES

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: Estruturas.

Orientador: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

CAMPINA GRANDE – PB

JULHO/2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

KATYANE LEMOS DE LYRA MARQUES

DESEMPENHO DO CONCRETO INCORPORADO COM QUARTZITO

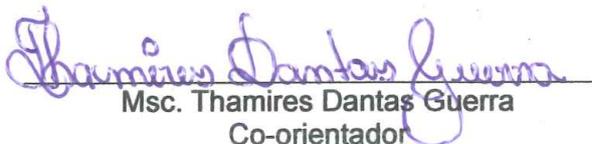
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em 27/07/2018
perante a seguinte Comissão Julgadora:



Prof. Drª Ana Maria Gonçalves Duarte
Orientadora

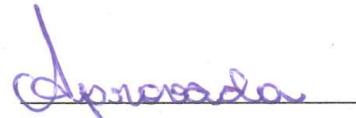
Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande





Msc. Thamires Dantas Guerra
Co-orientador

Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Msc. Ericka Vitória de Negreiros Duarte
Membro Interno

Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Msc. Loredanna Melissa Costa
Examinador Externo
UIFACISA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ser minha fortaleza e guia no caminhar da vida. Sou grata aos familiares e amigos que com entusiasmo tem apoiado minha graduação sendo porto seguro nas dificuldades, em especial a meu esposo Pablo Miguel de S. Marques, a meus pais Tércio A. Lyra e Alcione L. Lyra e a meus sogros Lenivaldo M. de Sousa e Joselma de S. Marques, cujo apoio me trouxe o vigor para permanecer e seguir em frente.

Venho também agradecer à Professora Ana Maria G. D. Mendonça por sua dedicação à docência e pela colaboração significativa na produção do presente trabalho e a todos que fizeram parte da construção de meu conhecimento acadêmico.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meu filho Pedro Mikael e a meu esposo com quem divido a alegria das realizações e partilho o crescimento ao longo do caminho.

A todos os profissionais da Engenharia Civil exemplares, cuja dedicação e coragem transformam sonhos em realidade.

“Lancei o fundamento como prudente construtor; e outro o edifica sobre ele. Porém cada um veja como edifica. Porque ninguém pode lançar outro fundamento, além do que foi posto, o qual é Jesus Cristo.” (1Coríntios 3:10,11)

Bíblia Sagrada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representatividade da composição do concreto	19
Figura 2: Concreto Bombeável.....	24
Figura 3: Pavimento rígido – Rodovia Yamuna Expressway – Índia.....	25
Figura 4: Concreto leve – Bloco com EPS reciclável.....	25
Figura 5: Concreto submerso - BELOV (Obras civis subaquáticas).....	26
Figura 6: Concreto Protendido – Ponte do Galeão (RJ).....	27
Figura 7: Cores em profusão: cartela acena com diversidade de opções.....	28
Figura 8: Localização de Junco do Seridó na Paraíba.....	30
Figura 9: Pequenos blocos de quartzito para produção de mosaicos.....	31
Figura 10: Mosaicos de peças quadradas e retangulares.....	31
Figura 11: Parede externa de mosaicos de quartzito.....	32
Figura 12: Banheiro revestido com quartzito filetado.....	32
Figura 13: Resíduos grossos e finos de quartzito.....	34
Figura 14: Fluxograma das etapas da pesquisa.....	37
Figura 15: Ensaio de consistência (slump test).....	41
Figura 16: Moldagem dos corpos de prova de concreto incorporados com resíduo de mármore em pó nos teores de 10% e 20%.....	42
Figura 17: Resistência à compressão simples dos corpos de prova de concreto	43
Figura 18: Resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova de concreto.....	44
Figura 19: Difratoograma de raios-X do resíduo de quartzito.....	45
Figura 20: Resistência à compressão simples do concreto de referência e do concreto incorporado com 10% e 20% de resíduo de quartzito	46
Figura 21: Resistência à tração por compressão diametral do concreto de referência e do concreto incorporado com 10% e 20% de resíduo de quartzito	47

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Classes de resistência de concretos estruturais.....	20
Tabela 2: Quantitativo de material utilizado para moldagem dos corpos de prova	41
Tabela 3: Análise química do resíduo de quartzito.....	44

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

ABESC - Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem no Brasil

ABNT - Associação Brasileira de normas técnicas

ABCP - Associação Brasileira de cimento Portland

EPS - Poliestireno Expandido

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

NBR - Norma Brasileira

RESUMO

O foco da Engenharia Civil moderna tem sido o desenvolvimento de projetos que aliem sustentabilidade e qualidade às construções. Pesquisas e inovações tem surgido com o intuito de estudar a adição de novos materiais ao concreto verificando a melhoria de seu desempenho. Um desses materiais é o resíduo de quartzito proveniente do Junco do Seridó na Paraíba, diminuindo, assim, os impactos ambientais causados pela disposição desse material em locais inadequados. Este trabalho tem por principal objetivo avaliar as propriedades mecânicas do concreto com a substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de quartzito nos teores de dez e vinte por cento. Foram moldados corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 10 x 20 (cm) para avaliação da resistência a compressão simples e a tração por compressão diametral nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias. Observou-se que a substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de quartzito promoveu uma pequena redução da resistência à compressão simples, no entanto, os resultados obtidos satisfazem aos parâmetros normativos. Para a resistência a tração os resultados obtidos foram superiores aos alcançados para o concreto de referência.

Palavras-chave: Concreto; propriedades; resíduo.

ABSTRACT

The focus of modern Civil Engineering has been the development of projects that ally sustainability and quality to the constructions. Research and innovations have arisen with the purpose of studying the addition of new materials to the concrete, verifying the improvement of its performance. One of these materials is the quartzite residue from Junco do Seridó in Paraíba, thus reducing the environmental impacts caused by the disposal of this material in inappropriate places. This paper proposes evaluation of the mechanical concrete properties with the partial replacement of the fine aggregate by quartzite residue at ten and twenty percent. Cylindrical specimens, measuring 10 x 20 cm, were molded for evaluation of simple compression strength and tensile strength by diametral compression at the ages of 7, 14, 21 and 28 days of cure. The partial replacement of the fine aggregate by quartzite residue promoted a small reduction in the compression resistance, however, the results obtained satisfy the normative parameters. For the tensile strength the results obtained were higher than those achieved for the reference concrete.

Keywords: Concrete; properties; residue.

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 -TCC	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Concreto	18
2.1.1 Propriedades	20
2.1.2 Aplicações e casos	23
2.2 Quartzito	27
2.2.1 Origem.....	27
2.2.2 Caracterização	29
2.2.3 Extração.....	30
2.2.4 Usos	31
2.2.5 Pesquisas utilizando o resíduo de Quartzito do Junco do Seridó	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.1 Materiais	36
3.2 Metodologia	36
3.2.1 Primeira Etapa	37
3.2.2 Segunda Etapa.....	40
3.2.3 Terceira Etapa	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	48
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	49
6. REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais amplamente usado na engenharia, em virtude da facilidade de execução em uma grande variedade de formas e tamanhos, o que é possível devido à consistência plástica do concreto fresco permitindo que o mesmo flua em fôrmas pré-fabricadas. Tal material de baixo custo molda as estruturas que nos cercam. Os principais componentes para execução do concreto – cimento Portland e agregados – são relativamente baratos e comumente disponíveis na maior parte do mundo (MEHTA et al.,2008).

Segundo o Prof. Dr. Paulo Monteiro, da Universidade da Califórnia (HASPARYK, 2014) o grande desafio para o futuro próximo é produzir bilhões de toneladas de concreto que sejam economicamente viáveis, de qualidade, durável e ecologicamente correto. Sua crescente demanda traz consigo a necessidade de se estudar e introduzir materiais alternativos na composição do concreto em substituição ou adição da substância cimentícia ou agregados.

O quartzito, abundante em solo brasileiro, é uma rocha nobre e versátil que vem sendo muito utilizada na construção civil como elemento ornamental no revestimento de pisos e fachadas, bem como na confecção de bancadas e outros móveis. Sua beleza, variedade de cores e resistência faz dela um elemento de destaque nos ambientes onde é implantada. O Estado de Minas Gerais responde pela maior parte da produção brasileira de quartzitos sendo registrados quatro centros de lavras de quartzitos, utilizados como rochas ornamentais e de revestimento, sendo o mais expressivo o de São Thomé das Letras, seguindo-se Alpinópolis, Ouro Preto e Diamantina (FERNANDES et al., 2003).

Na Paraíba o Junco do Seridó é um município de vasto potencial mineralógico cuja atividade garimpeira já é reconhecida no mercado. A atividade mineradora de quartzito no município, tem se configurado como uma importante estratégia de geração de emprego e renda, mas ao mesmo tempo contribui com o processo de degradação ambiental (NETO et al., 2015). As atividades como o corte por meio de serra diamantada das rochas

de quartzito geram resíduos finos (pó) e resíduos grossos (na forma de aparas) que não são descartados de maneira adequada.

Segundo Neto et al., (2015) a prática extrativa e de beneficiamento do quartzito em Junco do Seridó, em geral, é realizada de forma rudimentar, com desperdício de material e deposição de rejeitos em locais inapropriados, refletindo no processo de degradação ambiental que vem abatendo o município. O aproveitamento dos resíduos finos (pó) na confecção de concreto, em substituição de parte do agregado miúdo da mistura, se mostra uma alternativa interessante do ponto de vista da sustentabilidade. Sendo o enfoque deste trabalho, aliar o reaproveitamento do resíduo de quartzito ao possível melhoramento das propriedades do concreto.

1.1 JUSTIFICATIVA

A Engenharia Civil moderna tem buscado desenvolver e executar projetos que desempenhem sua função de atender às necessidades humanas com qualidade, durabilidade, custos reduzidos e que evitem ou minimizem ao máximo os impactos ao meio ambiente. As inovações tecnológicas com enfoque na sustentabilidade vão desde a execução inicial das obras até seu produto final.

O presente trabalho pretende apresentar uma alternativa sustentável, com potencial de melhorar propriedades do concreto, através da utilização de resíduos de quartzito na produção do mesmo. Por se tratar de uma rocha que detém minerais de grande resistência e pelo impacto ambiental causado pelo despejo inadequado dos rejeitos da atividade mineradora do quartzito, seu reaproveitamento como material de construção beneficia não só o mercado da construção civil como também a população que circunda a região do garimpo, promovendo a preservação do meio ambiente com a retirada desse rejeito.

1.2 HIPÓTESE DA PESQUISA

Partiu-se da seguinte hipótese: *“O quartzito (pó ou resíduo fino) pode ser utilizado como agente modificador das propriedades físicas, mecânicas e da durabilidade do concreto utilizado na construção civil”*. Como consequência da aceitação desta hipótese, tem-se uma alternativa para diminuir a disposição desse resíduo sobre o meio ambiente e o desenvolvimento de um processo (procedimentos e técnicas) para o seu aproveitamento, culminado em um concreto de qualidade e durável.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo principal avaliar o desempenho do concreto produzido com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de quartzito.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar química e mineralogicamente o resíduo de quartzito em pó proveniente do Junco do Seridó na Paraíba.
- Avaliar a resistência à compressão simples do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de quartzito nos teores de 10% e 20%;
- Avaliar a resistência à tração por compressão diametral do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de quartzito nos teores de 10% e 20%.

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:

Introdução – Introdução, Justificativa, Hipótese da pesquisa, Objetivos da Pesquisa e Organização da pesquisa.

Fundamentação Teórica – São abordados assuntos relacionados ao concreto com a substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de quartzito.

Materiais e Métodos – São apresentados os materiais utilizados na pesquisa e relatados aspectos considerados importantes sobre os procedimentos da etapa experimental.

Resultados e discussões – São apresentados os resultados obtidos para a resistência a compressão simples e a tração por compressão diametral do concreto em estudo.

Considerações Finais e Sugestões para Pesquisas Futuras

Por fim, estão as Referências, onde serão listadas as pesquisas citadas na pesquisa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Concreto

Segundo a ABESC, Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem no Brasil, concreto é um material formado pela mistura de cimento, água, agregados (areia e pedra) e eventualmente aditivos. Trata-se do material mais utilizado na construção civil no nosso país.

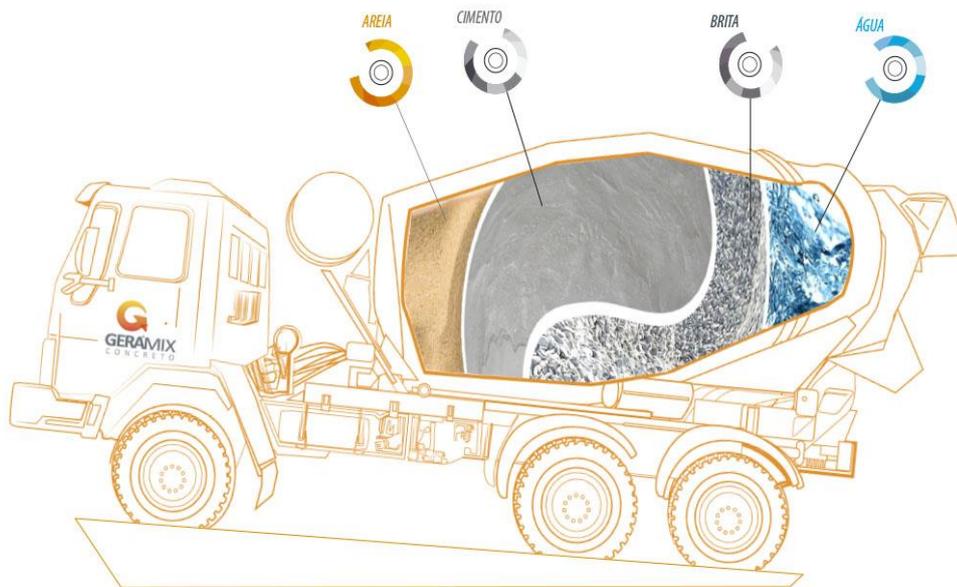
É um material que se destaca em diversos fatores tais como: sua capacidade de resistir à água, sem deterioração séria; sua facilidade de ser moldado em diversas formas; seu baixo custo e disponibilidade de matéria prima e sua resistência e durabilidade. Tais fatores dependem tanto da proporção entre os materiais que o compõe como da execução feita corretamente de cada etapa de sua fabricação e pós-lançamento.

Os principais componentes da mistura do concreto podem ser descritos da seguinte maneira:

- 1. Cimento (cimento Portland) e água:** o cimento é um material finamente pulverizado, o qual só se torna aglomerante quando hidratado com água, ou seja, cria propriedades ligantes quando seus minerais reagem quimicamente com a água;
- 2. Agregado miúdo (areia, escória de auto forno ou resíduos finos):** diz respeito a partículas de agregado menores que 4,8 mm (peneira n°4) e maiores que 75 µm (peneira n° 200);
- 3. Agregado graúdo (pedregulho, pedra britada ou resíduos de construção):** se refere a partículas de agregado maiores que 4,8 mm, como exemplo destes, seixos rolados e britas.

A Figura 1 ilustra de forma genérica, uma ideia da proporção dos elementos constituintes do concreto a título apenas de representação ilustrativa de tais componentes.

Figura 1: Representatividade da composição do concreto



FONTE: Geramix Concreto

Segundo a ABNT, conforme descrito na norma NBR 12655-15, com base em sua massa específica o concreto pode ser classificado em três categorias distintas. O *concreto de peso normal ou corrente* com massa específica seca entre 2000 kg/m^3 e 2800 kg/m^3 , geralmente usado para peças estruturais; o *concreto leve* com massa específica seca inferior a 2000 kg/m^3 e o *concreto denso ou pesado* com massa específica seca superior a 2800 kg/m^3 , utilizado na blindagem de radiações.

Outro aspecto de classificação se refere à resistência, baseada na resistência à compressão aos 28 dias. A Tabela 1, retirada da NBR 8953-15, separa em dois grupos tal classificação (I e II), sendo aqueles com resistência maior que C50 (grupo II) chamados de *concreto de alta resistência*. O concreto com resistência menor que C20 são considerados *concreto de baixa resistência* e não são utilizados como elemento estrutural. Já o utilizado correntemente para a maioria das estruturas, os *concretos de resistência moderada*, são aqueles pertencentes ao grupo I.

Tabela 1: Classes de resistência de concretos estruturais

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

FONTE: NBR 8953-15 (2015).

2.1.1 Propriedades

O concreto em seu estado endurecido apresenta as propriedades físicas e mecânicas citadas a seguir:

- Massa específica;
- Permeabilidade e absorção;
- Resistências mecânicas (à tração e à compressão);
- Módulo de elasticidade;
- Deformabilidade;

A massa específica é uma propriedade importante nos cálculos do peso próprio da estrutura, varia de acordo com o processo de execução (adensamento, tipo de agregados e quantidade de vazios) (MEDEIROS, 2009). Pode-se destacar algumas medidas de massas específicas correntes de alguns tipos de concreto, como: concreto armado com 2,5 t/m³, concreto leve com 1,9 t/m³, concreto pesado com 3,5 a 5,5 t/m³. É uma propriedade que, no concreto endurecido, está relacionada a vários fatores, principalmente com a natureza dos agregados (forma e tamanho) e com o método de compactação

empregado. Sendo tanto maior quanto maior for o peso específico dos agregados e quanto maior for a quantidade de agregados graúdos.

As propriedades de permeabilidade e absorção são influenciadas por diversos fatores. Tais fatores estão presentes nas etapas de preparação, desde a escolha dos materiais, até a cura do concreto, são eles: os materiais (a quantidade e pureza da água; a composição, finura e quantidade de cimento; os agregados e sua granulação, quantidade, tipos, impurezas e umidade e os aditivos se são quimicamente ativos ou inertes), os métodos de preparação (nos processos de mistura, lançamento, adensamento e acabamento) e o tratamento (condições do ambientes, idade e cura do concreto).

No que se refere às relações tensão-deformação dos materiais as análises das propriedades se apresentam em termos da resistência, do módulo de elasticidade, da ductilidade e da tenacidade. A escolha de um material para uma determinada construção leva em conta sua capacidade de resistir às forças aplicadas. Sendo a deformação devido a cargas aplicadas expressa em *deformação específica*, que é definida como a mudança do comprimento por unidade de comprimento; a *carga* é expressa em *tensão* (unidade: Mpa), que nada mais é que, a força por unidade de área.

A resistência de um material é definida como a capacidade de este resistir à tensão sem ruptura (MEHTA et al., 2008). Sendo, muitas vezes, o aparecimento de fissuras a indicação de que ocorreu a ruptura, embora o concreto já apresente em sua estrutura microfissuras antes mesmo de ser submetido a tensões externas. Portanto a resistência está relacionada à tensão máxima que a amostra pode suportar, causando a fratura do corpo de prova ou mesmo uma quantidade de fissuras internas tão grande que o corpo de prova não suporte uma carga maior.

A resistência é a principal propriedade dos concretos, por apresentarem grande resistência à compressão, eles se destacam no ramo da construção civil. A resistência à compressão aos 28 dias, cuja determinação se dá através de um ensaio padrão de compressão uniaxial, é aceita universalmente como um índice geral da resistência do concreto, apesar de este material ser também

submetido simultaneamente à compressão, cisalhamento e a esforços de tração em mais de uma direção.

Diversos fatores influenciam a resistência do concreto. A relação água/cimento é um deles, na qual para facilitar o amassamento, muitas vezes é colocada água em excesso provocando falhas na resistência mecânica do concreto. A água desnecessária à hidratação do cimento evapora criando vazios responsáveis pela diminuição da resistência. A idade do concreto também é um fator influente e é diretamente proporcional à resistência dele (maior a idade maior sua resistência mecânica) (MEDEIROS, 2009).

O módulo de elasticidade é a relação entre a tensão e uma das fases da deformação que é a deformação reversível. Podemos dizer que no primeiro momento de aplicação de uma determinada carga a deformação sofrida pelo corpo-de-prova, ao ser descontinuada a aplicação da carga, é reversível, ou seja, o material volta ao seu estado inicial. Isso se dá quando a elasticidade é proporcional à tensão aplicada.

Ao serem aplicadas altas tensões, a deformação não poderá ser mais recuperada se o corpo de prova for descarregado, ou seja, a partir de um dado nível de tensões a deformação é permanente (também chamada de deformação plástica). Essa quantidade de deformação permanente que pode acontecer sem que o corpo-de-prova rompa é a medida da *ductilidade*. E a medição da energia necessária para alcançar a ruptura é a *tenacidade* do material. Essa energia para a ruptura é o produto da força vezes a distância e é tida como a área sob a curva do gráfico de tensão-deformação obtido através do ensaio de compressão.

Observando-se o comportamento elasto-plástico do concreto, este se mostra um material extremamente complexo. Isto se dá pela notória diferença entre as características do rompimento, sob carga de compressão, dos elementos testados separadamente (agregado e pasta), que rompem elasticamente, e testado quando juntos (concreto), que se comporta inelasticamente antes de fraturar.

A fissuração devido às deformações no concreto pode ocorrer como resposta às cargas externas aplicadas e ao meio ambiente que o circunda. Ao

entrar em contato com a temperatura e a umidade ambiente, o concreto recém-endurecido, sofre *contração térmica* (associada ao resfriamento, pois as reações exotérmicas aumentaram sua temperatura) e *retração por secagem* (associada a perda da umidade). Quando as tensões são mantidas constantes ocorre um aumento gradual de deformação que é chamado de *fluência*. Quando o aspecto contrário ocorre (deformação constante com diminuição gradual das tensões) dá-se o nome de *relaxação* ao fenômeno. Estas relações tensão-deformação no concreto são bastante complexas, pois nem as deformações nem as restrições são uniformes ao longo da peça.

2.1.2 Aplicações e casos

O concreto é um material vastamente utilizado na construção civil. Seus diversos usos estão presentes em inúmeras etapas da construção devido às características de resistência, facilidade de moldagem, resistência à água, durabilidade e baixo custo.

Podemos destacar as seguintes aplicações:

- Fundações;
- Estruturas;
- Pontes;
- Paredes;
- Pisos;
- Revestimentos;
- Móveis e ornamentos;
- Obras de arte;
- Estruturas de contenção (barragens), etc.

O engenheiro faz a escolha do tipo de concreto a ser utilizado em seu projeto com base nas qualidades esperadas do mesmo para atender à determinada necessidade da sua obra. Diversos tipos de concreto são encontrados hoje no mercado. O ramo apresenta cada vez mais inovações

tecnológicas promovendo celeridade às grandes edificações, canteiros de obra mais limpos e uma considerável redução de custos.

O concreto bombeável é utilizado na maioria das obras civis. Possui uma dosagem apropriada para o bombeamento o que evita a segregação e perdas de material. Sua aplicação vai desde obras civis a obras industriais, além da confecção de peças pré-moldadas. A Figura 2 mostra uma laje de um edifício sendo concretada.

Figura 2: Concreto Bombeável



FONTE: CONCRECEC concreto usinado.

O concreto rolado é mais utilizado como sub-base, sendo de aplicação em pavimentos, possui um acabamento de baixa qualidade e também é usado como sub-base de barragens de grande porte. Na pavimentação também se faz uso de um concreto chamado concreto de pavimento rígido, apresentado na Figura 3, de fácil lançamento e execução, possui como vantagens a maior durabilidade, redução de custos e manutenção e maior luminosidade.

Figura 3: Pavimento rígido – Rodovia Yamuna Expressway – Índia



FONTE: MASSA CINZENTA – Cimento Itambé (2016).

O concreto pesado possui alta densidade (de 2800 a 4500 kg/m³) e é obtido com o uso de agregados especiais, como a hematita, sendo sua aplicação em hospitais, usinas nucleares e como contra peso em gasodutos. Já o concreto leve tem uma densidade que varia de 400 a 1800 kg/m³, este não é utilizado com função estrutural e é aplicado como enchimento e regularização de lajes, pisos e elementos de vedação. Os mais comuns são o concreto com isopor e o concreto com argila expandida. A Figura 4 ilustra um bloco de concreto leve com EPS reciclável.

Figura 4: Concreto leve – Bloco com EPS reciclável



FONTE: MASSA CINZENTA – Cimento Itambé (2015).

Concreto submerso é o nome dado ao concreto aplicado na presença de água, como em barragens, alguns tubulões, estruturas submersas no mar ou em água doce, estruturas de contenção, etc. A Figura 5 se trata de uma estrutura sendo executada com concreto submerso pela empresa BELOV Obras Portuárias LTDA.

Figura 5: Concreto submerso - BELOV (Obras civis subaquáticas)



FONTE: BELOV

No concreto protendido é realizado um artifício de introduzir na estrutura um estado prévio de tensões na peça concretada dando a ela como resultado final um resistência maior. São inúmeras vantagens dentre as quais se destacam a redução de incidência de fissuras, diminuição da dimensão das peças e a possibilidade de vencer maiores vãos do que o concreto armado convencional. A Figura 6 ilustra a Ponte do Galeão (Rio de Janeiro), que foi a primeira obra em concreto protendido das Américas. Chamamos de concreto armado aquele que possui em seu interior barras de aço (armações) que são projetadas para atender à deficiência que o concreto apresenta quanto a resistir esforços de tração, cuja aplicação é indispensável em certas peças como vigas e lajes.

Figura 6: Concreto Protendido – Ponte do Galeão (RJ)



FONTE: NTC brasil (2015)

O concreto de alto desempenho é aplicado em obras civis especiais, hidráulicas e em recuperações. Sua elaboração contém normalmente adições minerais (sílica ativa e metacaulim) e aditivos superplastificantes. Possui vantagens como: o aumento da durabilidade e vida útil das obras, redução dos custos e melhor aproveitamento das áreas de construção.

Outra inovação na indústria da construção civil é o concreto auto adensável. Este possui elevada plasticidade, podendo dispensar total ou parcialmente o uso de vibradores, reduzindo custos com mão de obra e energia, aumentando a produtividade no lançamento do concreto. É aplicado em fundações especiais (tipo hélice contínua e paredes diafragma), bem como em peças delgadas e densamente armadas. Em alguns casos, pode ter em sua composição, aditivos de última geração.

2.2 Quartzito

2.2.1 Origem

O quartzito é uma rocha metamórfica, cuja composição é quase que completamente de quartzo. O processo de metamorfismo que dá origem a essa rocha ocorre de rochas sedimentares com grande quantidade de sílica amorfa. A rocha preexistente sofre processos termodinâmicos (efeitos de variação de temperatura e pressão), os quais produzirão novas texturas que se expressam orientados segundo um novo traçado (MARANGON, 2009).

A derivação do quartzito pode vir, também, além do metamorfismo de arenitos (rico em quartzo) e cherts (rochas ricas em sílica amorfa), do metamorfismo de veios de quartzo ou do processo em rochas vulcânicas muito silicosas.

Segundo Filho (2017), a transformação dos arenitos em quartzitos pode ocorrer de duas maneiras. A primeira se dá em condições de temperatura e pressão muito baixas, onde os espaços entre os grãos de quartzo do arenito serão preenchidos por um cimento rico em sílica (SiO_2) devido à circulação de fluidos nestes espaços. Este tipo é conhecido como ortoquartzito.

A segunda maneira, que ocorre em condições de altas temperaturas e pressão, sendo caracterizada pelo deslocamento tectônico do arenito para regiões profundas da terra. Nesta situação os grãos de quartzo se recristalizam e os vestígios dos sedimentos originais são apagados. Este processo resulta na rocha que chamamos de quartzito.

O quartzito é uma rocha que possui alta resistência mecânica, resistência à ação de produtos químicos, também resiste à incidência solar, é antiderrapante, além de ser encontrada em diversas cores, das quais as mais raras são a azul e a verde (produzidos na Bahia). A Figura 7, a seguir, mostra algumas das cores encontradas no mercado para uso dessa rocha como rocha ornamental e de revestimento.

Figura 7: Cores em profusão: cartela acena com diversidade de opções



FONTE: Navarro et al., (2015)

2.2.2 Caracterização

A formação geológica do quartzito se dá pelo metamorfismo do arenito. Na região do Junco do Seridó, o quartzito encontrado possui foliação bem desenvolvida com plano de clivagem característico, sua granulação é de média a fina com uma textura granoblástica. Esse tipo de rocha se apresenta intercalada de Caulim no Junco do Seridó, numa região conhecida como serra da carneira.

De acordo com Ferreira e Albuquerque (1969, MACEDO, R. de S., 2015), a formação do quartzito também ocorre como gnaisses intercalados com lentes de calcário cristalino ou em associação com tactitos sheelitíferos, originando inúmeros depósitos minerais. As rochas predominantes nesta formação são biotita-xistos granatíferos, biotita-muscovita-xistos, xistos filitosos e clorita-sericita-xistos, com intrusões pregmatíticas, especialmente na porção leste.

Segundo Vieira & Vidal (2016), podem-se destacar as seguintes características petrográficas e mineralógicas do quartzito da região do Junco do Seridó:

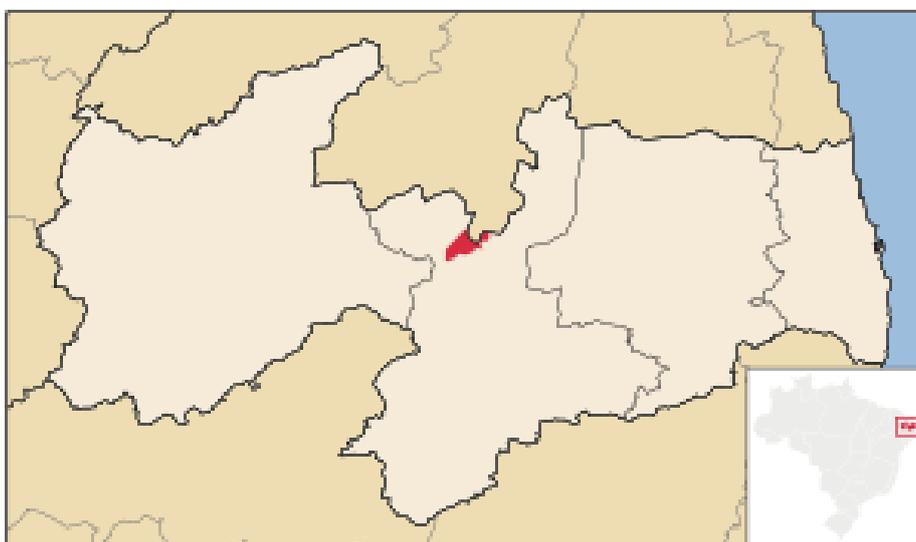
- Colorações: verde, róseo, grafite, preto, dourado e marrom.
- Média a baixa resistência à compressão e à abrasão.
- Não conserva o calor e são pouco impermeáveis.
- Textura granuloblástica com granulação fina a média.
- Apresentam grãos de quartzo cristalizados.
- Apresentam como minerais acessórios: moscovita, clorita, epídoto, magnetita, silimanita, feldspato, entre outros.
- Anisotropia (variação de suas propriedades de acordo com a direção).

No mercado da construção civil, além da resistência e durabilidade, o fator de escolha deste material como rocha ornamental e de revestimento é a cor que o mesmo possui. As cores mais comuns de se encontrar o quartzito no Junco do Seridó (de verde a marrom) são pelo fato de o quartzo ser o mineral predominante nesta rocha, com teores de SiO₂ abaixo de 70%, e pelos minerais acessórios.

2.2.3 Extração

A região da qual o quartzito foi coletado, para a realização dessa pesquisa, foi a cidade do Junco do Seridó na Paraíba. Ela está localizada no Seridó Ocidental Paraibano, a 265 quilômetros de João Pessoa e a 35 km a Sul-Oeste de Parelhas (Cidade-Brasil, 2016), com população de 7,165 habitantes (IBGE, 2017) faz parte da região metropolitana de Patos. O Junco do Seridó está situado a 590 metros de altitude e possui as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 6°59'41" Sul, Longitude: 36°42'41" Oeste. A Figura 8 ilustra o mapa de localização da cidade no estado da Paraíba.

Figura 8: Localização de Junco do Seridó na Paraíba



FONTE: Wikipédia

Os principais depósitos de quartzitos do estado da Paraíba estão no município de Várzea e Junco do Seridó, sua ocorrência está associada a rochas pré-cambrianas do Proterozóico Superior, na Formação do Equador do Grupo Seridó. A comercialização desses quartzitos é feita em forma de placas brutas, sem beneficiamento superficial, de formato quadrado ou retangular (VIDAL et al., 2012).

A extração do quartzito vem sendo realizada por métodos manuais, há mais de vinte anos. Em virtude do aumento da procura da rocha para criação de mosaicos e outros usos, no mercado da construção, observou-se o aumento considerável na escala produtiva da retirada do quartzito. As ferramentas

manuais utilizadas são as talhadeiras e as marretas, sendo realizado o prévio desmonte com explosivos. Em seguida são recortadas em serrarias de pequeno porte e comercializadas em tamanhos já padronizados, ilustrado pela Figura 9. Com o tempo o corte veio sendo aprimorado e já é feito com o uso de serras diamantadas talhadeiras automáticas, apesar de ainda existir o corte manual. Incluiu-se no processo de aprimoramento a montagem das peças em matrizes de silicone, que facilitam a aplicação, em unidades de processamento.

Figura 9: Pequenos blocos de quartzito para produção de mosaicos



FONTE: CORREIA, J. C. G. et al. (2012)

2.2.4 Usos

O quartzito é utilizado principalmente como rocha de revestimento, tanto externo como interno. Seu uso vem se estendendo também como calçamentos e em mosaicos ornamentais. A Figura 10 apresenta os mosaicos nos moldes prontos para comercialização. As Figuras 11 e 12 nos mostram mais exemplos da utilização dessa rocha no revestimento.

Figura 10: Mosaicos de peças quadradas e retangulares.



FONTE: CORREIA, J. C. G. et al. (2012)

Figura 11: Parede externa de mosaicos de quartzito



FONTE: Construindodecor

Figura 12: Banheiro revestido com quartzito filetado



FONTE: Construindodecor

O aumento da procura da rocha no mercado da construção civil se tornou uma alternativa de geração de renda para moradores da cidade do Junco do Seridó, mas em contrapartida a exploração predatória desenfreada, tem causado grandes impactos ambientais, principalmente pela geração de resíduos que não recebem destinação adequada.

2.2.5 Pesquisas utilizando o resíduo de Quartzito do Junco do Seridó

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 13 ilustra os resíduos grossos e finos gerados no processo de extração do mineral.

Figura 13: Fotos Pedreira - Extração do Quartzito 1



FONTE: L. Torquato Representações

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).

2.2.5.1 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. Conseqüentemente, 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).

Franklin Júnior (2009) estudou materiais depositados como rejeito nos bota-foras de minerações de quartzito para uso em concretos, verificando a possibilidade de este material ser aproveitado na indústria da construção civil. Os resultados de caracterização tecnológica nas amostras de quartzitos e da análise de concreto produzido com o agregado foram satisfatórios, com ressalvas às formas lamelares das partículas britadas em britador de mandíbula e da potencialidade deletéria dos concretos com quartzito, identificada nos ensaios para verificação de reação álcali-agregados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Os materiais utilizados na pesquisa foram:

- Resíduo de quartzito proveniente de jazida do Junco do Seridó;
- Cimento: CP II Z 32 – Cimento Portland composto com adição de pozolana;
- Agregado miúdo: areia;
- Agregados graúdos: britas convencionais;
 - Brita “19”: Brita graduada, com diâmetro máximo de 19 mm;
 - Brita “9,5”: também chamada de “cascalhinho”, difere da brita citada acima na granulometria, seu diâmetro máximo é de 9,5 mm;
- Água

3.2 Metodologia

Para desenvolvimento desta pesquisa foram seguidas as etapas descritas a seguir:

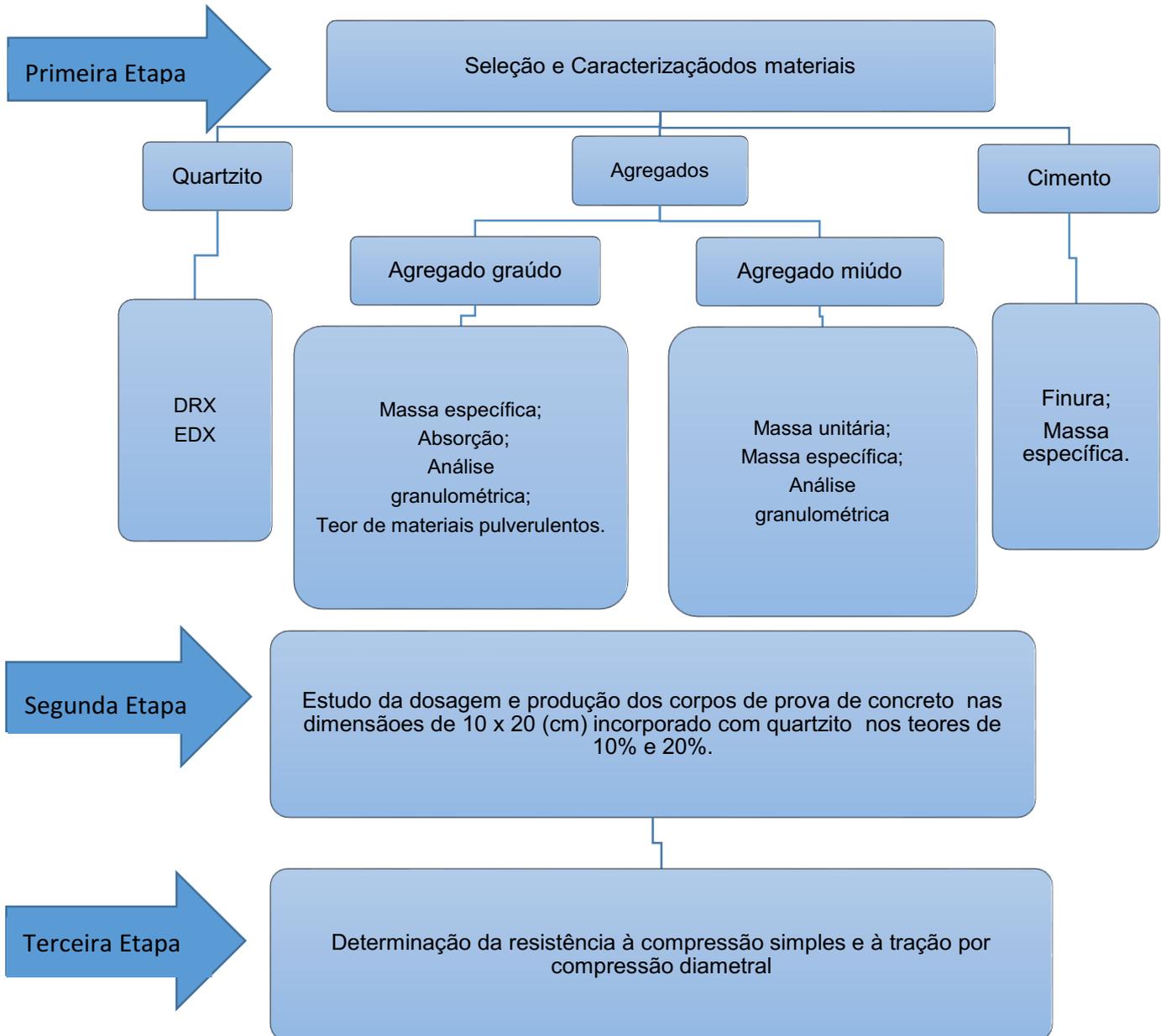
Primeira Etapa – Caracterização química, física e mineralógica: realização de ensaios para determinação das propriedades químicas, físicas e mineralógicas do quartzito, do agregado e do cimento.

Segunda Etapa – Moldagem dos corpos de prova de concreto substituindo o agregado miúdo por quartzito nos teores de 10% e 20%;

Terceira Etapa - Determinação da resistência à compressão e à tração do concreto incorporado com resíduo de quartzito.

A Figura 14 ilustra as etapas e procedimentos utilizados para a realização da pesquisa.

Figura 14: Fluxograma das etapas da pesquisa.



3.2.1 Primeira Etapa

3.2.1.1 Caracterização do resíduo de quartzito

Foram realizadas as caracterizações química e mineralógica do resíduo de quartzito em pó por meio de ensaios de fluorescência de raios-x e difração de raios-X.

- *Difração de raios-x (DRX)*

As análises por difração de raios-X da amostra estudada 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 $2^\circ/\text{min}$.

- *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 Raios-X.

3.2.1.2 Caracterização dos agregados miúdo e graúdo

Foram realizados ensaios de caracterização física para o agregado miúdo utilizado na pesquisa.

- Granulometria

Através do ensaio de granulometria é determinado a distribuição percentual dos diferentes tamanhos dos grãos do agregado. É representada pela curva de distribuição granulométrica que mostra o porcentual de material passando na peneira em questão versus logaritmo do diâmetro da abertura da peneira.

O ensaio de composição granulométrica para o agregado graúdo e agregado miúdo foi realizado segundo o método de ensaio da ABNT NBR 7217 (ABNT, 1987).

- Determinação da massa específica

Têm-se como massa específica do agregado a relação entre sua massa

e o seu volume, sem considerar os vazios permeáveis da água. Tal parâmetro é relevante no cálculo das estimativas de consumo dos materiais a serem determinados no traço de concreto.

A determinação da massa específica do agregado miúdo foi realizada por meio do frasco de Chapman, segundo a norma ABNT NBR 9776 (ABNT, 1987). Para o agregado graúdo a determinação da massa específica foi obtida utilizando-se a norma ABNT NBR NM 53 (ABNT, 2003).

- Determinação da massa unitária

A massa unitária do agregado no estado solto é a razão entre a massa do agregado lançado no recipiente e o volume desse recipiente. O objetivo principal do ensaio é verificar a massa unitária do agregado miúdo, incluindo os vazios, e umidade que existem entre os grãos, e determinar sua utilização no traço de concreto. Com essa determinação podem ser feitas transformações dos traços de massa para volume durante o procedimento de dosagem.

O ensaio foi realizado com o agregado miúdo segundo o método de ensaio ABNT NBR 7251 (ABNT, 1982)

- Determinação do teor de materiais pulverulentos

Os materiais pulverulentos são partículas minerais que passam na peneira de malha de nº 200 com abertura de 75µm, inclusive os materiais solúveis em água, presente nos agregados. O objetivo do ensaio é a determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados destinados ao preparo de concreto, foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 7219 (ABNT, 1987).

- Absorção

É o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à

penetração de um líquido em seus poros permeáveis, em relação a sua massa no estado seco. A determinação da absorção dos agregados graúdos foi realizada segundo o método de ensaio ABNT NBR NM 53 (ABNT, 2003). Dependendo do valor da absorção pode ser feito o reajuste nos cálculos da relação água/cimento dos traços de concreto.

3.2.1.3 Caracterização do cimento

- Ensaio de finura

É a determinação da porcentagem, em massa, de cimento Portland cujas dimensões de grãos são superiores a 75 µm através do método de peneiramento manual de acordo com a norma ABNT NBR 11579 (ABNT, 2012).

Esse ensaio é bastante relevante, pois quando o valor da finura do cimento é elevado, indica que ocorreu hidratação do cimento e conseqüentemente, perda de suas características. Quanto mais fino for o cimento melhor será a sua reação de hidratação e a resistência mecânica da argamassa.

- Massa específica

Para o cimento, o ensaio de massa específica foi realizado seguindo a norma DNER – ME 085 -1994.

3.2.2 Segunda Etapa

3.2.2.1 Estudo da dosagem e moldagem dos corpos de prova

Após a caracterização dos materiais foi realizado o estudo da dosagem do concreto de acordo com a metodologia da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, obtendo-se o traço 1:2:3,14 e fator a/c de 0,58. Foram

moldados corpos de prova nas dimensões de 10 x 20 (cm) com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de quartzito nos teores de 10% e 20% sendo estabelecidas as idades de cura de 7, 14, 21 e 28 dias.

A Tabela 2 apresenta o quantitativo de material utilizado para moldagem dos corpos de prova.

Tabela 2: Quantitativo de material utilizado para moldagem dos corpos de prova.

Materiais	CREF	C10% RQ	C20% RQ
Cimento (kg)	5,40	5,40	5,40
Resíduo de Quartzito (kg)	0,00	1,08	2,16
Agregado Miúdo (kg)	10,80	9,72	8,64
Agregado Graúdo 25mm (kg)	10,10	10,1	10,10
Agregado Graúdo 9,5 mm (kg)	6,70	6,70	6,70
Água (L)	3,13	3,13	3,13

A homogeneização dos materiais foi realizada in loco (betoneira), com abatimento do tronco do cone de 40-60, utilizando o controle de qualidade razoável e resistência requerida de 20MPa.

A Figura 15 ilustra a realização do ensaio de consistência (slump test).

Figura 15: Ensaio de consistência (slump test).



FONTE: Dados da pesquisa (2018).

A Figura 16 ilustra a moldagem dos corpos de prova de concreto incorporados com resíduo de quartzito em pó nos teores de 10% e 20%.

Figura 16: Moldagem dos corpos de prova de concreto incorporados com resíduo de quartzito em pó nos teores de 10% e 20%.



FONTE: Dados da pesquisa (2018).

3.2.3 Terceira Etapa

3.2.3.1 Determinação da resistência à compressão simples do concreto com substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo de quartzito nos teores de 10% e 20%

É a medida da resistência aos esforços de compressão, suportados por uma peça ou superfície. A resistência à compressão simples, denominada f_{ck} , é uma das características mecânicas mais importantes. Para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos de prova para ensaio segundo a NBR 5738 (ABNT, 2008), os quais são ensaiados segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007).

Os resultados obtidos para a resistência a compressão simples resultam da média de 2 corpos de prova.

A Figura 17 ilustra a realização do ensaio de resistência à compressão simples dos corpos de prova de concreto.

Figura 17: Resistência à compressão simples dos corpos de prova de concreto.



FONTE: Dados da pesquisa (2018)

3.2.3.2 Determinação da resistência à tração por compressão diametral do concreto com substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo de quartzito nos teores de 10% e 20%

É a resistência de uma substância sólida à força de tensão, uma força que age para esticá-la. A resistência à tração é medida como a quantidade de força necessária para quebrar uma substância por estiramento. O ensaio de tração por compressão diametral é regido pela norma técnica NBR 7222 (ABNT,2010).

A Figura 18 ilustra a realização do ensaio de resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova de concreto.

Figura 18: Resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova de concreto.



FONTE: Dados da pesquisa (2018)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da caracterização do resíduo de quartzito por análise química e difração de raios-X, obteve-se os resultados da composição química e das fases mineralógicas dos materiais.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para o ensaio de análise química do resíduo de quartzito

Tabela 3: Análise química do resíduo de quartzito.

Matérias-primas	Composições							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	CaO	Na ₂ O	PF
Resíduo de quartzito	70,73	12,19	4,39	9,79	0,40	0,45	-	2,05

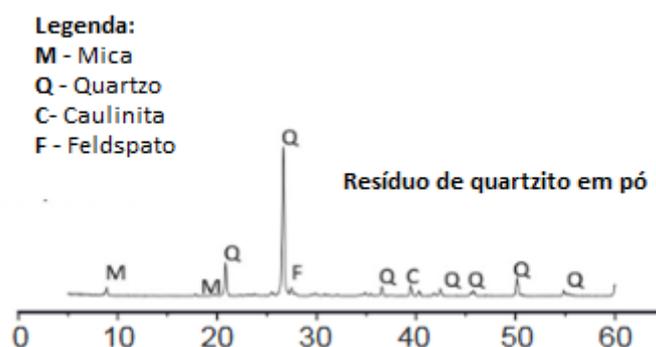
PF: Perda ao Fogo.

Observando os valores da composição química, verifica-se que o resíduo de quartzito é constituído basicamente de sílica (70,73 %), teor de óxido de alumínio (Al₂O₃=12,19 %), teor de óxido de ferro de 4,3% e óxido fundente (K₂O= 9,79 %).

De acordo com Dias (2017), a elevada quantidade de óxido de sílica indica materiais mais estáveis e resistentes a ações externas garantindo assim matrizes mais duráveis e com melhor desempenho.

A Figura 18 ilustra os resultados obtidos para a difração de raios-X do resíduo de quartzito.

Figura 19: Difratoograma de raios-X do resíduo de quartzito.

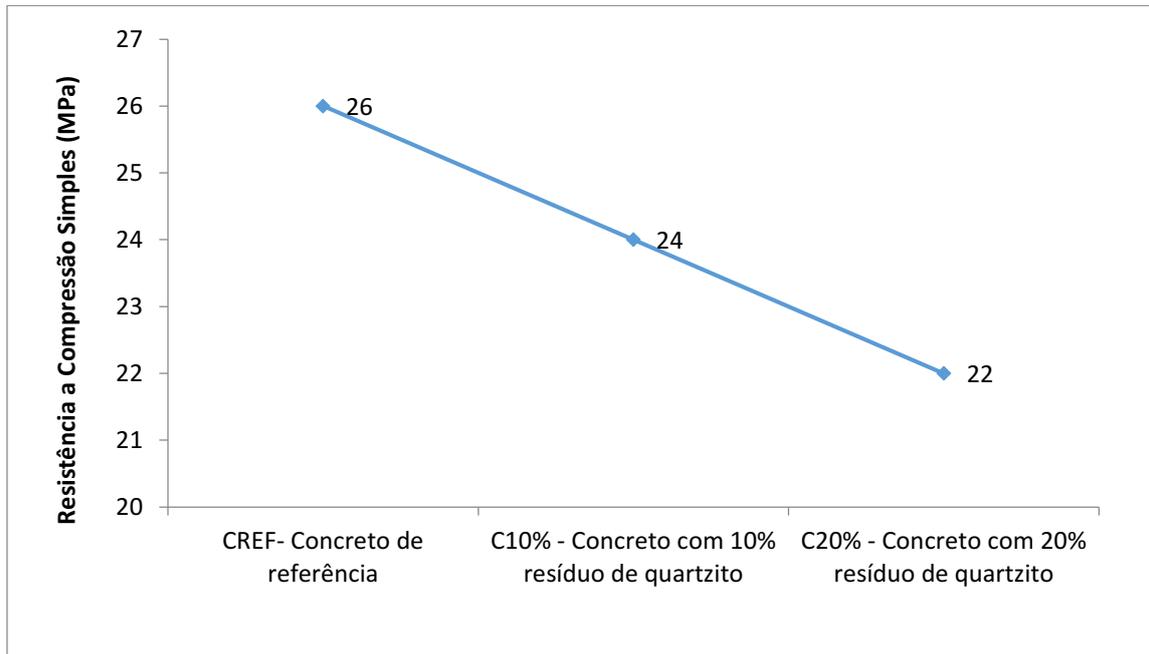


FONTE: Dados da pesquisa (2017)

Observando o difratograma do resíduo de quartzito, verifica-se a presença de mica, caracterizada pelas distâncias interplanares de $9,47\text{Å}$; de caulinita caracterizada pela distância interplanar de $7,32\text{Å}$; de quartzo (SiO_2), caracterizada pela distância interplanar de $3,34\text{Å}$; Observa-se também que o resíduo é formado basicamente de quartzo, e a presença deste mineral assegura estabilidade e durabilidade às matrizes.

A Figura 19 ilustra os resultados obtidos para a resistência a compressão simples do concreto de referência e do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de quartzito nos teores de 10% e 20%.

Figura 20: Resistência à compressão simples do concreto de referência e do concreto incorporado com 10% e 20% de resíduo de quartzito.



De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de quartzito promoveu a redução da resistência a compressão simples do concreto, obtendo-se para o concreto com 10% de resíduo de quartzito uma redução de 7,69% e para o concreto com 20% uma redução de 15,38%.

A dosagem foi realizada com o intuito de obter um concreto simples com 20 MPa de resistência a compressão. De acordo com a NBR 8953 o concreto com valor mínimo de resistência igual a 20 MPa após 28 dias é classificado como C20 e pertence ao grupo I de resistência. Diante do exposto e conforme resultados ilustrados na Figura 19, pode-se observar que, apesar da redução da resistência com a adição do resíduo em pó de quartzito, todos os valores estiveram dentro do previsto para o concreto C20, e dentre elas o melhor desempenho foi para a amostra com 10% de resíduo.

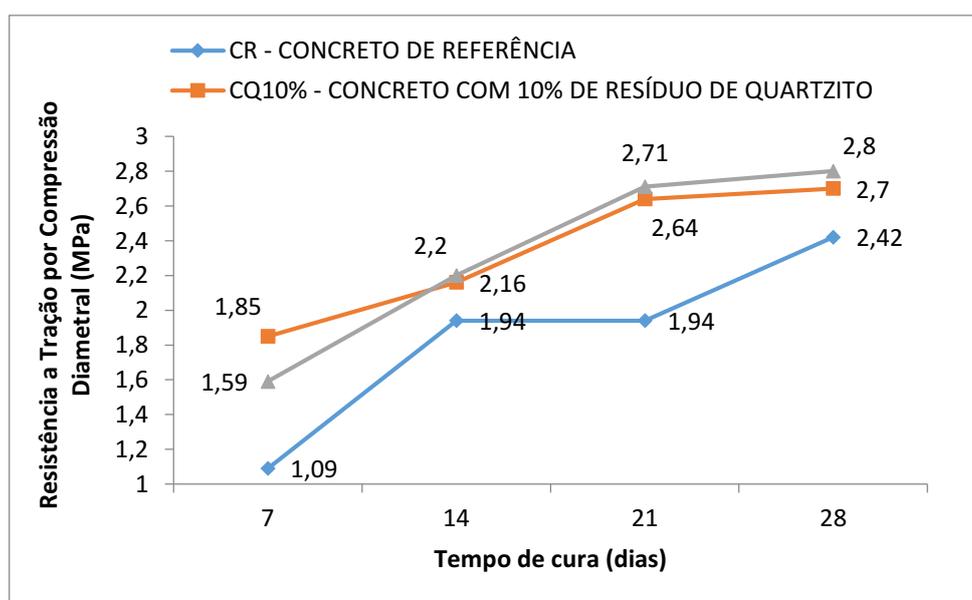
Estudos realizados por Reis & Reis (2017) sobre a utilização de rejeitos pulverulentos de quartzitos na produção de concretos de ultra desempenho indicaram que a resistência à compressão máxima alcançada foi próxima de 94,27MPa, e se estabilizou a partir dos 28 dias de idade para o concreto moldado com quartzito. Portanto, pode-se classificar o material produzido como

um compósito de cimento à base de pós-reativos de elevada resistência à compressão.

Pinheiro (2003) em seu estudo avaliou a resistência à compressão de corpos de provas de concreto fabricados com 100% de agregados (miúdos e graúdos) de resíduo de quartzito oriundos da região sudoeste do estado de Minas Gerais, usando a relação água/cimento de 0,48, proporção agregado/cimento igual a 3 e presença de aditivo plastificante. A resistência à compressão obtida foi de 32,44 MPa e 30,93 MPa para corpos de provas cilíndricos e cúbicos respectivamente. Através destes e outros resultados, Pinheiro (2003) indica ser viável a utilização do resíduo de quartzito como agregado para fabricação de concretos para construção civil, porém alerta para o uso do resíduo em estruturas que permaneçam constantemente na presença de umidade, devido a possível presença da reação álcali-agregado.

A Figura 20 ilustra os resultados obtidos para a resistência a tração por compressão diametral do concreto de referência e do concreto com substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo de quartzito nos teores de 10% e 20%.

Figura 21: Resistência à tração por compressão diametral do concreto de referência e do concreto incorporado com 10% e 20% de resíduo de quartzito.



De acordo com os resultados ilustrados na Figura 20, observa-se que a substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de quartzito também promoveu a melhoria da resistência à tração por compressão diametral, observando um aumento do valor da resistência para todas as idades em estudo e teores de substituição.

Conforme resultados obtidos, verifica-se que aos 28 dias houve um aumento de resistência à tração em relação ao concreto de referência de 12% e 16% respectivamente para os teores de substituição de 10% e 20%.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os objetivos propostos neste estudo e com os resultados obtidos, foi possível considerar que:

Quanto ao resultado da análise química do resíduo de quartzito conclui-se que o mesmo é constituído essencialmente por óxidos de sílica, com teores relativamente baixos de óxido de ferro, sugerindo materiais estáveis e resistentes a ações externas. No ensaio de DRX foi constatada presença predominante de quartzo nas amostras.

Para a resistência a compressão simples houve uma redução da resistência à compressão simples com a substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de quartzito, chegando a aproximadamente 15,3%, no entanto, os resultados obtidos satisfazem aos parâmetros normativos e atingem a resistência requerida para o concreto em estudo.

Para a resistência a tração por compressão diametral, a substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de quartzito promoveu a obtenção de resultados de resistência superiores aos obtidos para o concreto de referência, sendo esses na ordem de 12% e 16% respectivamente para 10% e 20% de resíduo de quartzito.

5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

A partir dos resultados obtidos neste estudo, aponta-se como sugestões de continuidade e aprofundamento da presente pesquisa:

- Avaliar a resistência à compressão simples do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por teores superiores aos utilizados neste estudo;
- Estudar a resistência à tração por compressão diametral do concreto com substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo de quartzito com teores superiores aos utilizados neste estudo;
- Analisar a possibilidade de incorporação do resíduo de quartzito em artefatos da construção civil.

6. REFERÊNCIAS

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.

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 NM 53-03: Agregado Graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738-08: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739-07: Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217-87: Determinação da composição granulométrica**, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7219-87: Agregados – Determinação do teor de materiais pulverulentos**, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222-11: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251-82: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953-15: Concreto para fins estruturais – classificação pela massa específica, por grupo de resistência e consistência**, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776-87: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579-12: Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655-15: Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**, 2015.

BELOV. **Concreto submerso - Obras civis subaquáticas**. Disponível em: <<http://www.belov.com.br/obras-civis-subaquaticas/estruturas-em-concreto-tipo-pre-packed-ou-submerso/index.html>>. Acesso em 02 de dezembro de 2017.

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.

CIDADE-BRASIL. **Município de Junco do Seridó**, 2016. cidade-brasil.com.br. Disponível em: <<http://www.cidade-brasil.com.br/municipio-junco-do-serido.html>>. Acesso em 09 de dezembro de 2017.

CONCRECEC CONCRETO USINADO. **Concreto Bombeável**. Disponível em: <www.concrecec.com.br/produto/concreto_bombeavel-6>. Acesso em 02 de dezembro de 2017.

CONSTRUINDODECOR. **Quartzito na construção civil – Pedra decorativa**. Disponível em: < <http://construindodecor.com.br/quartzito-na-construcao-civil-pedra-decorativa/>>. Acesso em 11 de dezembro de 2017.

CORREIA, J. C. G.; VIDAL, F. W. H.; VIEIRA, E. V.; CAMPOS, A. R.; COSTA, J. B. M. da. **Aproveitamento de rejeitos de quartzitos da região do Vale do Seridó – PB**. Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequenas Empresas – CATE, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Rio de Janeiro - RJ; Laboratório de Tratamento de Minérios, Centro de Ciências Tecnológicas, UFCG, Campina Grande – PB, 2012.

DIAS, Luma de Souza. **Rejeito de mineração de quartzito como agregado para produção de argamassa colante**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER – ME 085-94: Material finamente pulverizado – determinação da massa específica real**, 1994.

FERNANDES, Tânia Maria Gomes; GODOY, Antônio Misson; FERNANDES, Nedson Umberto. **Aspectos geológicos e tecnológicos dos quartzitos do centro produtor de São Thomé das Letras (MG)**. São Paulo: UNESP, Geociências, 2003. Disponível em: <http://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/22_2/3.pdf>. Acesso em: 29/11/2017.

FERREIRA, J. A. M.; ALBUQUERQUE, J. P. T. **Sinopse da geologia da Folha Seridó**. Recife: SUDENE, 1969. 52p. (Série Geologia Regional, 18).

FRANKLIN JÚNIOR, I. (2009) **Estudo tecnológico em rejeitos de quartzito do Sudoeste de Minas Gerais para utilização como agregado graúdo no concreto**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG. 142p.

GERAMIX CONCRETO. **Representatividade da composição do concreto**. Disponível em: <<http://www.geramix.com.br/concreto-geramix/>>. Acesso em: 30/11/2017.

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.

HASPARYK, Dra Nicole Pagan. **Dois mil anos de tecnologia do concreto e os desafios para o novo milênio**. Revista Concreto & Construções. Ano XLII,

nº76, p. 43. São Paulo: editora IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades: Brasil / Paraíba / Junco do Seridó**, 2017. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/junco-do-serido/panorama>>. Acesso em 11 de dezembro de 2017.

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.

L. TORQUATO REPRESENTAÇÕES. Fotos Pedreira - Extração do Quartzito 1. Disponível em: < <http://site.ltorquato.com.br/dicas.php?pg=2&dica=51> > Acesso em julho de 2018.

MACEDO, Rayla de Sá. **Relatório de visita técnica aos garimpos de Junco do Seridó, PB e Equador, RN**. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Centro de Ciências Tecnológicas _ CCT, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, 2015.

MARANGON, Márcio. Notas de aula Geologia, Unidade 6: **Rochas Metamórficas**. Universidade Federal de Juiz de Fora. UFJF, 2009. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/nugeo/pagina-do-aluno/notas-de-aula/elementos-de-geologia/notas-de-aula-prof-marcio-marangon/>>. Acesso em 08 de dezembro de 2017.

MASSA CINZENTA, Cimento Itambé. **Pavimento rígido – Rodovia Yamuna Expressway – Índia**, 2016. Disponível em: < <http://www.cimentoitambe.com.br/india-1a-pavimento-concreto/>>. Acesso em 02 de dezembro de 2017.

MASSA CINZENTA, Cimento Itambé. **Concreto leve – Blocos celulares de concreto substituem drywall**, 2015. Disponível em:

<<http://www.cimentoitambe.com.br/blocos-celulares-de-concreto-substituem-drywall/>>. Acesso em 02 de dezembro de 2017.

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.

MEDEIROS, Tânia R. **Apostila de materiais de construção experimental**. UFCG – Universidade Federal de Campina Grande, CTRN - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Paraíba, agosto de 2009.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto – Microestrutura, propriedades e materiais**. 3ª edição. São Paulo: Editora IBRACON– Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

MENEZES, Ricardo Gallart de; LARIZZATTI, João Henrique. **CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM MÁRMORES 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.

NASCIMENTO, Élida 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

NAVARRO, Mayra (visual); MUNIZ, Laura (texto). **Quartzito: pedra une a beleza do mármore à resistência do granito**. Casa.com.br, Editora Abril, 2015. Disponível em: <<https://casa.abril.com.br/materiais-construcao/quartzito-pedra-une-a-beleza-do-marmore-a-resistencia-do-granito/>>. Acesso em: 30 de novembro de 2017.

NETO, Silvana F.; SILVA, Tainara T. S.; SANTOS, Joelma S. **Impactos ambientais causados pela disposição final de rejeitos providos da mineração de quartzito na Paraíba**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, CONTECC' 2015. Fortaleza – CE, 15 a 18 de setembro de 2015.

NTC BRASIL. **Concreto Protendido – Ponte do Galeão (RJ)**. Disponível em: <<https://www.ntcbrasil.com.br/blog/entenda-o-concreto-protendido/>>. Acesso em 02 de dezembro de 2017.

PINHEIRO, W. M. G. (2003) **Utilização do resíduo da extração da pedra mineira como agregado no concreto**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil (Faculdade de Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 202p.

REIS, M. C; REIS, M. C. Utilização de rejeitos pulverulentos de quartzitos na produção de concretos de ultra desempenho. **V Simpósio sobre Resíduos Sólidos** (SIRS), 2017, São Carlos-SP. Brasil.

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).

WIKIPÉDIA. **Junco do Seridó**. Disponível em : <https://pt.wikipedia.org/wiki/Junco_do_Serid%C3%B3>. Acesso em 11 de dezembro de 2017.

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**. Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequenas Empresas – CATE, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Rio de Janeiro - RJ; P&W Consultoria em Mineração e Meio Ambiente, Campina Grande - PB; Unidade acadêmica de Mineração e Geologia, UFCG, Campina Grande – PB, 2012.

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.

VIEIRA, Elbert V.; VIDAL, Francisco W. H. **Projeto de Estudos sobre minerais da região da província mineral de Borborema nos Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará**. IX Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste e IV Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste. João Pessoa – PB. CETEM/UFCG, 10 a 13 de abril de 2016.