

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUCAS GABRIEL PINHEIRO DA SILVA

**CONFEÇÃO DE CONCRETO SUSTENTÁVEL UTILIZANDO REJEITO
PROVENIENTE DA EXTRAÇÃO DA SCHEELITA**

NATAL - RN

2018

LUCAS GABRIEL PINHEIRO DA SILVA

**CONFECÇÃO DE CONCRETO SUSTENTÁVEL UTILIZANDO REJEITO DE
SCHEELITA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

NATAL - RN

2018

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Silva, Lucas Gabriel Pinheiro da.

Confecção de concreto sustentável utilizando rejeito proveniente da extração da scheelita / Lucas Gabriel Pinheiro da Silva. – Natal, 2018.
61 f.

Orientador: Prof. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Rejeito – Monografia. 2. Scheelita – Monografia. 3. Sustentabilidade – Monografia. 4. ABNT – Monografia. 5. Concreto – Monografia. 6 Ensaio – Monografia. 7. Mineral – Monografia. I. Pereira, Fábio Sérgio da Costa. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

Larissa Inês da Costa (CRB 15/657)

LUCAS GABRIEL PINHEIRO DA SILVA

**COFECÇÃO DE CONCRETO SUSTENTÁVEL UTILIZANDO O REJEITO DE
SCHEELITA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD Fábio Sérgio da Costa Pereira

Orientador

Prof. PhD. Werner Farkatt Tabosa

Prof. Coordenador das Disciplinas de TCC 1 e TCC 2

Profa. PhD. Jaquelígia Brito da Silva

Profa. Externa - UFRN

Dedico este trabalho a todos que estiveram comigo nesta caminhada árdua e pesada. Aos meus pais por todo o apoio, e a toda minha família por sempre acreditarem no meu potencial.

AGRADECIMENTO

Agradeço em primeiro lugar a Deus por ter me proporcionado a oportunidade de poder cursar o que sempre me vi trabalhando.

Aos meus pais Alexsandra Vitória da Silva e Weber Joací de A. Mendes, por acreditar e seguir firme no meu sonho, sempre me apoiando e mostrando que eu posso. A minha família e irmãos que me ajudaram muito em todo processo.

Aos professores Fábio Pereira e Werner Farkatt pela dedicação e principalmente pelos ensinamentos dados, por toda paciência e disponibilidade de sempre poder me ajudar, mesmo em horas inoportunas.

“Não existe resultado sem esforço, sem suor.”

Jorge Paulo Lemann

RESUMO

O rejeito proveniente do mineral Scheelita é um problema pelo seu grande acúmulo em dunas na região de Currais Novos, pelo fato do rejeito representar quase 95% do que é produzido nas minas de Scheelita. Pensando nisso, foi proposta a confecção de um concreto que utilizasse esse rejeito de forma sustentável para a substituição do agregado miúdo no traço do concreto. A utilização deste rejeito para a confecção de concreto é importante tanto pela sustentabilidade, por utilizar um material em abundância em troca de um material em escassez, tanto financeiramente, uma vez que o rejeito da Scheelita não tem valor econômico. Foram feitos testes para concretos de duas classes ambientais distintas, a classe de agressividade ambiental I para zonas rurais e a classe de agressividade ambiental II para zonas urbanas, com resistência a compressão de 20 MPa e 25 MPa, respectivamente. Também foi considerada a absorção de água do novo material para saber se o mesmo se encaixa nas normas que rege esse tipo de ensaio. Além disso, todos os ensaios realizados neste trabalho foram parametrizados pelas normas da ABNT que os regem, desde a moldagem dos corpos de prova, o processo de cura dos mesmos até o rompimento dos corpos de prova. Por fim, pode-se constatar que os resultados obtidos por este trabalho foram proveitosos, partindo dos objetivos de utilizar um rejeito prejudicial a fauna e a flora local e alcançando um material com absorção de água dentro da norma e, uma ótima resistência a compressão atingindo os limites de norma. Foram 24 corpos de prova, rompidos após 28 dias, onde 12 para classe de agressividade ambiental I e outros 12 para classe de agressividade ambiental II. As médias dos resultados de resistência a compressão para os dois tipos de agressividades foram maiores que os valores regidos por norma. Além disso, pode-se observar uma economia de 22% no custo da confecção do concreto, em relação ao convencional.

Palavras-chave: Rejeito. Scheelita. Sustentabilidade. Concreto.

ABSTRACT

The discard that come from the mineral Scheelita mines production is a problem, by the time it causes a material accumulation in Currais Novos dunes region, representing 95% of everything that is produced in that mines and that rejected material is worthless. Seeing this issue, a structural concrete proposal, which uses the discarded material to substitute the fine aggregate in concrete moisture, would be sustentally and economically viable. Tests were made to some concrete specimens, like two different "classes ambientais", the first one was "classe de agressividade ambiental I", which represent rural zones and the "classe de agressividade ambiental II", which represent urban zones, that had a 20 MPa and 25 MPa compressive strength, respectively. In order to use the material proposed, its absorption was considered and checked if it is in the test standard. Furthermore, all the tests made in this workpaper are according to the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT), from the sample casting and the cure process to the concrete reupture. Finally, it is possible to imply that the results were really reliable, due to the discard remotion from the environment, which was being harmful to region flora and fauna, in addition to the fair absorption and concrete strength results using all the variants according to the Brazilian Standard. Were 24 test specimens, ruptured after 28 days, 12 for environmental aggression class 1 and 12 for environmental aggression class 2. The mean values of de results of resistance to compression for the two types of aggression were higher than the values governed by standard. In addition, it can be observed a saving of 22% in the confection of the concrete, in relation to the conventional one.

Palavras-chave: Discard. Scheelita. Sustentabilit. Concret.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Abatimento recomendado de acordo com a natureza da obra	27
Tabela 2 – Índice de consistência do concreto em função das diferentes naturezas de obra e condições de adensamento	28
Tabela 3 – Ensaio de granulometria do rejeito da Scheelita realizado no laboratório de materiais da UFRN.....	37
Tabela 4 – Resultado de FRX do rejeito	40
Tabela 5 – Numero de camadas para moldagem de corpo de prova	44
Tabela 6 – Resultado de resistência.....	52
Tabela 7 – Resultados dos ensaios de resistência a compressão para CAA II	54
Tabela 8 – Absorção de água para classe de agressividade ambiental I	54
Tabela 9 – Absorção de água para classe de agressividade ambiental II	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mineral Scheelita	17
Figura 2 – Vista aérea do município Currais Novos/RN	19
Figura 3 – Tungtênio Hotel em 2014	20
Figura 4 – Mapa do Rio Grande do Norte com ênfase a Currais Novos.....	20
Figura 5 – Vista aérea dos montes de rejeito proveniente da Scheelita na mina Brejuí	21
Figura 6 – Concreto em sua utilização estrutural	25
Figura 7 – Cone de Abrams, utilizado para o ensaio de slump test com diâmetros em centímetro	26
Figura 8 – Corpo de prova sendo adensado	31
Figura 9 – Equipamento utilizado para ensaio de FRX.....	33
Figura 10 – Equipamento utilizado para ensaio de difração de raio X.....	34
Figura 11 – Resultado do DRX do rejeito	39
Figura 12 – Corpos de prova em processo de moldagem	42
Figura 13 – Pasta de concreto após passar pela betoneira.....	43
Figura 14 – Rejeito proveniente da Scheelita utilizado no traço.....	43
Figura 15 – Ensaio de abatimento sendo realizado.....	44
Figura 16 – Ensaio de abatimento após retirada do cone	45
Figura 17 – Corpo de prova sendo adensado	45
Figura 18 – Pesagem do corpo de prova depois de desmoldado.....	46
Figura 19 – Corpo de prova de concreto sofrendo com esforço de compressão	47
Figura 20 – Corpo de prova de concreto sofrendo com esforço de compressão	48
Figura 21 – Pesagem do corpo de prova de classe de agressividade ambiental II sendo pesado seco	49
Figura 22 – Pesagem do corpo de prova de concreto de classe de agressividade ambiental I sendo pesado seco.....	50
Figura 23 – Corpo de prova sendo submetido a compressão pela prensa.....	52
Figura 24 – Corpo de prova após o rompimento	53
Figura 25 – Corpo de prova sendo pesado antes da cura.....	54
Figura 26 – Corpo de prova sendo pesado antes da cura.....	55
Figura 27 – Tipos de ruptura	56
Figura 28 – Ruptura de fratura no topo.....	57

Figura 29 – Ruptura de fratura de base.....	57
Figura 30 – Ruptura tipo cônica e bipartida.....	58
Figura 31 – Ruptura por cisalhamento.....	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Geral	14
1.1.2 Específico	14
1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA	14
2 METODOLOGIA	15
3 BREVE HISTÓRICO DA PRODUÇÃO MINERAL NO NORDESTE	16
3.1 PRODUÇÃO MINERAL NO RIO GRANDE DO NORTE (RN)	17
3.2 A UTILIZAÇÃO DA ROCHA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	22
3.3 PRODUÇÃO DA SCHEELITA	23
4 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO DE CIMENTO PORTLAND	25
4.1 QUANTO A SUA CONSISTÊNCIA	26
4.2 COMO DEFINIR A CONSISTÊNCIA NECESSÁRIA	27
4.3 QUANTO A SUA PLASTICIDADE	28
5 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO	29
5.1 MASSA ESPECÍFICA	29
5.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL	29
5.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA	31
6 TÉCNICAS EXPERIMENTAIS PARA ESTUDO DA MICROESTRUTURA	32
6.1 ESPECTROSCOPIA POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X (FRX)	32
6.2 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX)	33
6.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	34
7 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL UTILIZADO	36
7.1 REJEITO PROVENIENTE DA EXTRAÇÃO DA SCHEELITA	36
7.2 GRANULOMETRIA	36
7.3 MASSA ESPECÍFICA	37
7.4 FRX E DRX DO REJEITO	38
8 ESTUDO DE CASO	41
8.1 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS	41
8.2 ENSAIOS REALIZADOS	46
8.2.1 Ensaio de resistência a compressão	46
8.2.2 Ensaio de absorção de água	48

9 RESULTADOS DOS ENSAIOS	51
9.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL	51
9.1.1 Corpos de prova para classe de agressividade ambiental I	51
9.1.2 Corpos de prova para classe de agressividade ambiental II	53
9.2 RESULTADOS DO ENSAIO ABSORÇÃO DE ÁGUA	53
9.2.1 Resultados para corpos de prova de CAA I	53
9.2.2 Resultados para corpos de prova de CAA II	55
9.3 TIPOS DE RUPTURA	56
10 CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

A preocupação maior de toda a população mundial é a diminuição da utilização de recursos naturais em todos os segmentos, tendo em vista que os problemas ambientais são uma realidade e que suas consequências só serão amenizadas com conscientização.

A construção civil faz parte de um desses segmentos que necessita de uma conscientização, pelo fato de utilizar muitos recursos naturais para a sua execução, além de gerar rejeitos sólidos ao meio ambiente. A utilização destes recursos está diretamente ligada ao método construtivo que se é aplicado, tendo em vista que, em todo o mundo o concreto é considerado o mais utilizado. Segundo a *Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP), a utilização do concreto pode chegar a 1,9 toneladas por habitante anualmente.

O concreto, basicamente, é composto por cimento, água, areia e brita. Sabendo deste fato, muitos estudiosos buscam alternativas para suprir a necessidade estrutural do concreto, mas que sejam considerados rejeitos e não tenham utilização prevista, diminuindo assim os impactos ambientais causados por este método construtivo. A substituição se dá basicamente nos agregados, que são: a brita e a areia. Por existir uma escassez maior do segundo e por sua maior facilidade de substituição, a areia se torna mais propícia a passar por este processo.

Sabendo que a areia é uma rocha sedimentar que por intemperismo, seja ele de qual tipo for, se fragmentou, e por ações do tempo e da fadiga acaba perdendo um pouco da sua resistência, a utilização de rochas que são consideradas rejeitos, principalmente provenientes de explorações minerais – que não sofrem ação do intemperismo, mas são trituradas em seu estado natural – tomaram força como alternativa para a substituição da areia.

Pensando por este lado e percebendo a quantidade de rejeitos sólidos que são provenientes da exploração da Scheelita, notou-se um possível substituinte para o agregado miúdo do concreto, a areia. Scheelita esta, que é encontrada geralmente em uma rocha hospedeira calcita e a sua produção no Brasil se concentra no estado do Rio Grande do Norte, região do Seridó, nas cidades de Currais Novos e Acarí. O rejeito utilizado neste trabalho é proveniente da Mineração Tomaz Salustino, mais conhecida como Mina Brejuí, localizada na cidade de Currais Novos, onde a sua produção de Scheelita chega a 10 toneladas mensais que correspondem a 5% de

um todo, sendo assim, 95% do material se transforma em rejeito sem nenhuma utilização previa.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

O objetivo deste trabalho é substituir o agregado miúdo do concreto, a areia, pelo rejeito proveniente da extração Scheelita, e testá-lo em duas resistências estabelecidas por norma, causando uma diminuição da utilização do recurso natural no concreto e dar destino ao rejeito que se aloja na mina Brejuí, em áreas que o seu transporte chegue a ser satisfatório economicamente, diminuindo seus impactos ambientais e gerando renda para os locais trazendo uma nova alternativa sustentável para confecção do concreto.

1.1.2 Objetivo específico

Este trabalho teve como objetivos específicos classificar se os concretos confeccionados com o rejeito proveniente da extração da Scheelita podem ser utilizados para projetos estruturantes e se possível em qual agressividade isto pode ser feito, além de avaliar através de ensaios a absorção de água do concreto com o novo agregado, e ensaios de resistência a compressão, confeccionando 24 corpos de prova para a idade de 28 dias de cura.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA

Sentiu-se a necessidade da abordagem deste tema pela grande quantidade de rejeito resultante da extração da Scheelita e pelo fato do mesmo não ter onde ser armazenado, formando dunas de rocha hospedeira triturada em grãos de pequena granulometria causando danos para a fauna e a flora local. Além deste fator preponderante, a não utilização deste material causa danos econômicos a própria mineração, tendo em vista que caso este rejeito fosse utilizado de alguma forma, acarretaria em uma melhora tanto na parte ambiental da região como na geração de empregos, assim como a diminuição da extração de areia natural.

2 METODOLOGIA

A metodologia empregada passa por uma revisão bibliográfica de trabalhos que já utilizaram este rejeito como substituinte do agregado miúdo em outras finalidades, além da confecção de corpos de prova com o concreto com seu novo agregado, submetendo-o a ensaios de resistência à compressão e ao cálculo de absorção de água do mesmo e o seu comportamento de acordo com os dias que está submetido a cura.

Foram analisados um total de 24 corpos de prova, sendo 12 corpos de prova para cada agressividade regida pela NBR 6118, sendo caracterizadas em:

- ✓ Agressividade I – Concreto de 20 Mpa de resistência a compressão;
- ✓ Agressividade II – Concreto de 25 Mpa de resistência a compressão.

Os corpos de prova foram rompidos na idade de 28 dias de cura. Além disso, foram expostos a testes de absorção de água onde passaram, após pesagem, 28 dias submersos a água para saber se são satisfatórios os resultados quando comparados ao concreto que utiliza areia como agregado miúdo.

Todos os ensaios foram regidos por normas técnicas da associação brasileira de normas técnicas que orientam desde a confecção, o processo de cura, o ensaio de absorção, o rompimento dos corpos de prova até a classificação dos tipos de rompimentos.

3 BREVE HISTÓRICO DA PRODUÇÃO MINERAL NO NORDESTE

Segundo Andrade (1987), existe uma relatividade quanto a afirmativa que a mineração no Nordeste se iniciou durante a segunda guerra mundial. É notório que houve um incentivo maior e um estímulo devido à grande procura por parte dos aliados para o abastecimento de minerais, já que os mesmos eram fornecidos pela própria Europa e pelo Extremo Oriente, que foram ocupados respectivamente por Alemães e Japoneses, fazendo com que os americanos buscassem outras alternativas para abastecerem-se desses minerais, sem haver uma preocupação com a questão econômica, sendo levado em consideração apenas a questão estratégica. Resultando assim no surto de exploração de Scheelita no Rio Grande do Norte e no investimento para pesquisa de novos minerais. Influenciados por um curto período de trabalho derivados de trabalhadores rurais que exerciam trabalhos agrícolas que era na maior parte de moradores da região, era fácil recrutar uma mão-de-obra não especializada para a mineração, que por se tratar de um clima semi-árido, ocasionava um grande período de ócio devido a seca. Além desses detalhes, a remuneração oferecida pela mineração era superior a que se recebia pelas práticas agrícolas, práticas essas que poderiam ser substituídas por algum integrante da família. Estes aspectos, junto a grande quantidade de minério na região, fizeram com que a mineração fosse uma importante atividade econômica, pela grande oferta de emprego, pelo grande volume de produção trazendo grande dinamização as áreas mineradoras do Seridó. Com o fim da segunda guerra, apenas as empresas de maior porte, com uma maior produção conseguiram manter-se abertas, por terem um maior volume de capital, puderam se modernizar e enfrentar a concorrência do mercado internacional. A figura 1 abaixo mostra o cristal da Scheelita (PAIVA, 2013).

Figura 1 – Mineral Scheelita



Fonte: Mineral (2014).

O que leva a acreditar que a produção de minério no Nordeste não foi iniciada durante a segunda guerra, são relatos antigos que levam a crer que as extrações de tais minérios ocorreram desde o início da sua ocupação territorial. No século XVI já se falava na existência de prata nos sertões do Rio Real, na Bahia e em regiões do estado de Sergipe, terras doadas a Caramuru onde o seu neto, Belchior Dias, que passou vários anos no sertão, afirmou haver descoberto minas de prata, exigindo do rei uma série de direitos pela tal descoberta. Não sendo atendido, não revelou a localização das minas de prata que foram objeto de ensaios sobre a história Nordeste (PAIVA, 2013).

Além destes fatos, o desenvolvimento do povoamento e da produção de açúcar estimulou, a exploração de argila que atendia à demanda de tijolos e de telhas, tanto utilizado na construção civil como na produção de açúcar mascavo. Antes mesmo da utilização do cimento, as construções mais antigas eram feitas com “caliça”, uma mistura de cal, argila e óleo de baleira ou o próprio cal virgem que é tradicionalmente usado em pinturas de paredes até os dias atuais (PAIVA, 2013)

3.1 PRODUÇÃO MINERAL NO RIO GRANDE DO NORTE (RN)

Mesmo o estado do Rio Grande do Norte sendo um dos estados brasileiros onde a extração de minerais é notória, foi durante a segunda guerra mundial que esse feito tomou maiores proporções, quando esta produção entrou em escala

comercial devido à grande procura dos americanos após a sua entrada na guerra, tendo em vista que os mesmos se viram privados de contatos com diversos fornecedores de metais. Isto fez com que as autoridades brasileiras estimulassem as pesquisas quanto a esses materiais para, principalmente, confecção de materiais bélicos, sendo no Rio Grande do Norte rico em um destes materiais, a Scheelita. (Mineração do Nordeste: Depoimentos e Experiências.)

O fato para a exploração de minério no Rio Grande do Norte ser tão forte, é que em 2011, segundo o último senso encontrado, 60% de minério concentrado de tungstênio nacional, foram produzidas nesse estado gerando cerca de 3,4 milhões de dólares. No ano de 2012, nos três primeiros meses, as exportações chegaram a quantia de 1,55 milhão de dólares, representando 70% das exportações brasileiras do minério de Tungstênio. Alguns fatores são relevantes para essa quantidade de ampliação na produção no estado de Rio Grande do Norte, como a implantação do Gasoduto Assú-Seridó, que garante a distribuição da produção nas regiões onde predomina a mineração. Além dos benefícios fiscais recebidos pelas empresas mineradoras, ainda existe um fator que acarretará em uma melhoria dessa produção, a implantação do Centro Tecnológico de Minérios para pesquisar e qualificar a mão de obra (PAIVA, 2013).

O município de Currais Novos está localizado na região do Semiárido Norte-rio-grandense, onde a Mineração Tomaz Salustino, mais conhecida como Mina Brejuí, está localizada, da qual é considerada a maior mineradora de Scheelita na América do Sul. Minério este que tem um papel muito importante para a cidade, estado e inclusive o país, onde se é retirado o Tungstênio, tão importante para a economia norte-rio-grandense (MEDEIROS, 2016).

Além da produção da Scheelita a mineração Tomaz Salustino tem grande potencial econômico também pela volumosa jazida de calcário que pode ser utilizada em várias indústrias como: cimento, cal, indústria de tintas, adubos corretivos de solo, cerâmica branca, indústria do açúcar, fabricação de vidros, dentre outras utilidades (MINERAÇÃO..., 2015).

Figura 2 – Vista aérea do município Currais Novos/RN



Fonte: Soares (2017).

Pode-se dizer que o auge da mineração na cidade de Currais Novos/RN, aconteceu em plena segunda guerra mundial, onde o fornecimento de toneladas de minério para a indústria do aço era constante, principalmente na produção de equipamentos bélicos onde a utilização do tungstênio é frequente. Durante este período, foi notório o desenvolvimento da cidade, com a construção de vários empreendimentos devido ao fluxo de pessoas e ao dinheiro que acionava a economia da cidade, como: cinema, o Tungstênio Hotel (imagem 3) que existe até os dias atuais, emissoras de rádio, campo de pouso, estádio de futebol, dentre outros. Como mostra a figura 3, a seguir (MINERAÇÃO..., 2015).

Figura 3 – Tungtênio Hotel em 2014



Fonte: A mina... (2014).

Figura 4 – Mapa do estado do Rio Grande do Norte dando ênfase a cidade de Currais Novos



Fonte: Currais... (2018).

Desde o início dos anos 2000 a mineração no município de Currais Novos (figura 4) está voltando as suas atividades. São cerca de 300 empregos gerados até o momento e a Mina Brejuí (figura 5) conta com uma produção mensal de 10 toneladas, em média. Além da exploração de minério, o turismo ganha força, tanto é

que a Mina Brejuí, nos últimos anos, tornou-se o maior parque temático do Rio Grande do Norte recebendo visitas de turistas e estudantes vindos de todo Brasil e do exterior, que buscam conhecer as galerias onde a produção era feita, as etapas da mesma e o museu que se encontra dentro do próprio parque, além da curiosidade de saber mais sobre esse minério que mudou a vida dos currais-novenses (PAIVA, 2013).

Figura 5 – Vista aérea dos montes de rejeitos provenientes da extração da Scheelita na Mina Brejuí



Fonte: A mina... (2014).

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), as reservas de tungstênio totalizaram cerca de 40 mil toneladas, sendo delas, 70% vindas dos recursos de Scheelita do estado do Rio Grande do Norte, onde pode-se considerar um grande teor de trióxido de tungstênio (WO_3). Neste mesmo ano, o Brasil exportou cerca de 122 toneladas do minério de tungstênio e seus concentrados, tendo um faturamento de 1,4 milhão de dólares. Apesar dos números, houve uma queda de 38% na quantidade e de 22% no faturamento em relação ao mesmo período, no ano anterior. Onde os principais compradores da exploração brasileira foram, Bolívia (46%), Países Baixos (15%), Reino Unido e China (13%, cada) e os Estados Unidos (7%) (PAIVA, 2013).

A scheelita é um mineral composto de Tungstato de Cálcio, cuja a fórmula química é composta por $CaWO_4$, ou seja, há uma fonte importante de Tungstênio,

material de grande importância para a indústria bélica, metalúrgica, elétrica, muito utilizado também na indústria aeroespacial e na produção de diversos materiais como por exemplo equipamentos de raio x, projeção de foguetes ou até mesmo nas pontas de canetas esferográficas. indústria metalúrgica, em equipamentos de raio X, brocas de perfuração petrolíferas, na indústria de projeção de foguetes, tendo sido muito utilizado na construção de armamento e até mesmo na confecção de canetas esferográficas (MEDEIROS, 2016).

3.2 A UTILIZAÇÃO DA ROCHA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

É muito comum a utilização da rocha como material construtivo, desde os primórdios da humanidade, estes elementos são utilizados nas obras de engenharia, seja em qualquer etapa construtiva. Um exemplo prático e notório são as pirâmides do Egito, onde suas construções foram feitas há cerca de 4 mil anos, além de todos os monumentos e edifícios da antiguidade utilizarem esse tipo de material, tanto pela quantidade em abundância quanto pela sua resistência e durabilidade (PAIVA, 2013).

Podemos definir rocha como um corpo sólido, natural, resultante de um processo geológico determinado, em sua maior parte o intemperismo, podendo conter um ou mais minerais de agregados, sendo arrançados devido as condições de temperatura e pressão existentes em sua formação. Ou ainda, podem ser corpos de metais não cristalinos como o vidro e materiais sólidos orgânicos, como o carvão (PAIVA, 2013).

As propriedades da rocha têm como base quatro aspectos primordiais. Começando pela sua composição mineralógica, onde reflete a sua composição química e as condições de formação, além da alteração de cada mineral que esteja contido na composição, onde isso acarreta uma influência decisiva nas propriedades da rocha como a sua durabilidade. A sua estrutura é compreendida e orientada nas posições de massas rochosas, além da decorrência do intemperismo que auxilia na formação da mesma. Geralmente as massas rochosas são maciças, acarretando uma característica física e mecânica homogênea. O arranjo espacial microscópico dos minerais, muitas vezes exclusivos para alguns tipos de rocha, é o que consiste na textura da mesma. Esta propriedade está intimamente relacionada as condições físicas vigentes durante a formação da rocha e a sua mineralogia, além de interferir,

em partes, no índice de vazios, consequentemente na impermeabilização, e na resistência mecânica da rocha. Por fim, a granulometria é o que caracteriza o tamanho dos grãos, sendo assim um dos principais critérios para a classificação das rochas sedimentares. Responde por uma maior resistência, devido a maior coesão dos minerais, das rochas Ígneas vulcânicas, além de diferencia-las macroscopicamente das rochas Plutônicas (PAIVA, 2013).

A divisão das rochas se dá em três grandes grupos: rochas ígneas, as sedimentares e as metamórficas. As primeiras são aquelas que são resultados de uma solidificação do material rochoso gerado no interior da crosta terrestre, como exemplo podemos citar o Granito. As sedimentares são formadas por meio de erosão e deposição sedimentar, derivada da desagregação de rochas da superfície terrestre, da precipitação química ou acúmulo de fragmentos orgânicos. Esses processos são conhecidos como intemperismo, seja ele físico, químico ou orgânico, como citado, ocasiona uma degradação da rocha mãe por fadiga. Por fim, as rochas metamórficas que são derivadas de rochas já existentes, devido a mudanças mineralógicas, químicas e estruturais em resposta a alterações das condições físicas e químicas (PAIVA, 2013).

3.3 PRODUÇÃO DA SCHEELITA

O processo de beneficiamento da Scheelita continua sendo o mesmo praticamente desde os primórdios, isso se dá pela rusticidade do desenvolvimento que se mantém desde a década de 40. Os equipamentos trabalham por processos gravimétricos, como mesas vibratórias e jígues por exemplo. Cerca de 0,8% tem viabilidade econômica para o mercado de scheelita, o resto é considerado rejeito (MEDEIROS, 2016).

O processo de extração e beneficiamento da scheelita se inicia com a detonação de explosivos no interior da mina. Após esta detonação, os fragmentos que restaram deste processo são levados em caminhões até o topo do engenho e lá são postos em uma grelha para filtrar os blocos de maior granulometria. Isso é necessário para que os blocos de rocha fiquem do tamanho ideal para que não causem problema ao britador. (MEDEIROS, 2016).

O britador por sua parte, tem função de quebrar estes fragmentos que passaram pela grelha até ficarem com uma granulometria menor e poderem ser

encaminhados para peneiras vibratórias afim de separar os fragmentos com granulometria arenosa dos de maior granulometria, estes que voltam para o britador até que atinjam uma granulometria compatível com a arenosa. Após este processo de britagem, o material resultante é estocado em silos (MEDEIROS, 2016).

Logo depois que o material sai dos silos, através de esteiras retornam as mesas vibratórias. A partir daí o material peneirado é conduzido para um moinho de martelo e depois é transferido para uma tubulação em direção ao jig. O processo de jigagem basicamente é a promoção da separação hidráulica, isso ocorre para separar as partículas em camadas de acordo com a sua densidade (MEDEIROS, 2016).

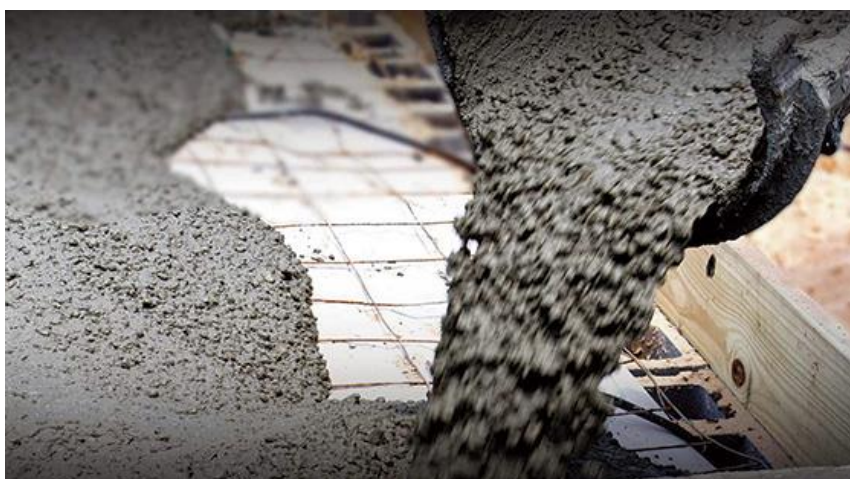
A Scheelita, mais densa, fica depositada no fundo do jig devido ao processo de decantação pelo fato da mesma ser a mais densa e é coletada por um orifício na parte inferior do equipamento. Após este processo, o material retorna as mesas vibratórias para separação dos materiais fazendo com que através do movimento da mesa o rejeito seja separado do material misto e da scheelita comercializada. Portanto assim, de forma resumida, é feita a extração de scheelita (MEDEIROS, 2016).

4 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO DE CIMENTO PORTLAND

Desde os tempos antigos o concreto é utilizado como material construtivo, chegando a ser um dos mais antigos conhecido pela humanidade, junto a pedra, a argila e a madeira. Produzido desde a época dos romanos, era produzido um tipo de concreto com cinza vulcânica e cal, permitindo a moldagem e a soldagem de peças ou blocos de pedra. Afirma-se que a origem do concreto em tempos mais recentes fica em torno do ano de 1756, quando John Smeaton utilizou pela primeira vez uma argamassa calcinada na construção do farol Eddystone (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000).

Somente a partir de 1824, após o aparecimento do cimento Portland é que o concreto assumiu um lugar de destaque entre os materiais utilizados na construção civil, devido a sua enorme versatilidade e moldagem, principalmente, com uma relativa facilidade na confecção em qualquer que fosse a forma arquitetônica. A partir daí surgiram as primeiras especificações para concreto baseadas no estudo científico dos elementos construtivos e propriedades físicas. São notórias as utilizações do concreto na sociedade moderna, seja em meios rurais que parte desde a estrutura da casa até cochos, bebedouros e a pavimentação da propriedade, como no meio urbano, tendo as mesmas utilizações e principalmente na função estrutural (Figura 6). Tendo em vista essas colocações, podemos afirmar que o concreto de cimento Portland é extremamente fundamental para os profissionais de engenharia, seja em qual meio seja utilizado, desde que seja feito com segurança (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000).

Figura 6 – Concreto em sua utilização estrutural



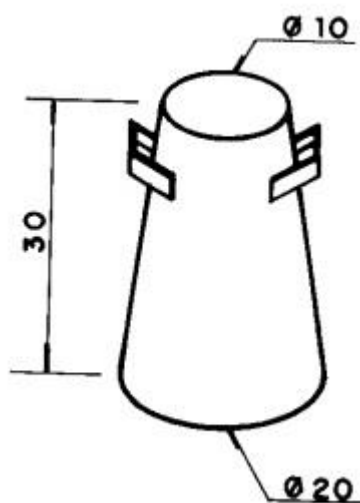
Fonte: Revista... (2015).

Quando o concreto se encontra no seu estado fluido, anterior à sua cura, podemos compreendê-los como suspensões bifásicas. Generalizando, a composição passa a se tornar uma matriz composta pela base de cimento Portland com uma fração de partículas encrustadas nessa massa, que seriam os agregados graúdos (brita ou afins) e os agregados miúdos (areia ou algo que possa substituí-la) e sem esquecer da água, responsável por essa fluidez (PAIVA, 2013).

4.1 QUANTO A SUA CONSISTÊNCIA

A consistência do concreto, tem a sua importância, por ser usado como um índice de mobilidade ou da fluidez do concreto e pode ser obtida por ensaio de abatimento de cone ou por um aparelho chamado Vebe. A perda do seu abatimento é definida com o passar do tempo. Podemos considerar essa como uma das principais características do concreto, por ela ser crucial na trabalhabilidade, na aptidão de manuseio e na capacidade de deformação do concreto fresco devido a sua própria massa. A norma que define o método de ensaio para a determinação da consistência do concreto através do abatimento do tronco de cone, mais conhecido como Slump Test, é a NBR NM 67 (ABNT, 1998), como podemos ver na figura 7 a seguir (PAIVA, 2013).

Figura 7 – Cone de Abrams, utilizado para o ensaio de slump test com diâmetros em centímetro



Fonte: Araújo, Rodrigues e Freitas (2000).

4.2 COMO DEFINIR A CONSISTÊNCIA NECESSÁRIA

Primeiro é feito o levantamento da natureza da obra, o espaçamento entre as paredes e a forma em que vai ser distribuída a armadura, impondo assim a consistência e a resistência necessária que o concreto deve ter. Fixados então esses três fatores, mediante ao estabelecimento de determinado valor para a relação de água utilizada no traço, ou o fator água/cimento como comumente é chamado, é necessário assegurar uma mistura que atinja uma consistência necessária para a natureza da obra. Para chegarmos a determinação desse teste, o método mais utilizado no Brasil, devido a sua facilidade e sua execução no próprio canteiro de obra, é o ensaio de abatimento conhecido como Slump Test, onde se é usado o equipamento apresentado na figura 7 e é regido pela norma citada no parágrafo anterior (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000).

De acordo com a norma que rege os projetos estruturais de concreto, a NBR 6118, a consistência do material dependerá das dimensões da peça a ser concretada, de acordo com a distribuição da armadura e até mesmo os processos de lançamento, sem esquecer o adensamento. De acordo com essa norma, podemos perceber um padrão em abatimento, dependendo da natureza da obra. Como podemos observar nas tabelas 1 e 2 a seguir.

Tabela 1 – Abatimento recomendado de acordo com a natureza da obra

Tipo de obra	Abatimento em cm	
	Máximo	Mínimo
Bloco sobre estaca e sapata	8	2
Viga e parede armada	10	2
Pilar de edifício	10	2
Laje maciça e nervurada	8	2

Fonte: Araújo, Rodrigues e Freitas (2000).

Tabela 2 – Índices de consistência do concreto em função das diferentes naturezas de obra e condições de adensamento

Consistência	Abatimento (cm)	Tipo de obra	Tipo de adensamento
Extremamente seca (terra úmida)	0	Pré-fabricação	Condições especiais de adensamento
Muito seca	0	Grandes massas; pavimentação	Vibração muito enérgica
Seca	0 a 2	Estruturas de concreto armado ou protendido	Vibração enérgica
Rija	2 a 5	Estruturas correntes	Vibração normal
Plástica (média)	5 a 12	Estruturas correntes	Adensamento manual
Úmida	12 a 20	Estruturas correntes sem grandes responsabilidades	Adensamento manual
Fluida	20 a 25	Concreto inadequado para qualquer uso	-

Fonte: Araújo, Rodrigues e Freitas (2000).

4.3 QUANTO A SUA PLASTICIDADE

A plasticidade é a propriedade do concreto fresco em que consiste na sua facilidade de ser moldado sem que ocorra rompimento. É diretamente ligada a consistência do concreto e o grau de coesão entre os componentes que fazem parte da sua composição, quando essa coesão não acontece, os elementos se separam, ocorrendo a segregação. Fato este que consiste na separação dos grãos de agregados (miúdos e graúdos), podendo ocorrer durante o transporte ou o lançamento, até mesmo por adensamento, por vibração excessiva, ou pela ação da gravidade onde os grãos mais pesados tendem a assentar no fundo das fôrmas (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000).

É necessário que o grau de plasticidade da mistura seja o quanto maior possível, a fim de evitar o aparecimento de vazios em uma peça concentrada. Neste caso, seria altamente desfavorável a obtenção da consistência desejada, precisando então do aumento de água causando uma diminuição na resistência, exigindo uma quantidade maior de cimento, aumentando então, por vez, o seu custo. A forma e a textura da areia têm uma grande influência na plasticidade do concreto, desta forma, podemos notar a importância da seleção de qualidade dos materiais a serem utilizados como agregado, afim de melhorar a qualidade do concreto, evitando o consumo maior de cimento e baixando o seu custo. A granulometria e a rugosidade dos materiais utilizados como agregado devem ser os mais favoráveis possíveis, para que a plasticidade da massa seja bem aproveitada (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000).

5 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

5.1 MASSA ESPECÍFICA

A massa específica é uma propriedade física que resulta de uma razão entre a massa compacta de uma substância pelo volume ocupado. É calculada pela fórmula a seguir (FÍSICA..., 2017).

$$\mu = \frac{m}{V}$$

Onde o “m” é a massa proporcional da substância e o “v” é o volume ocupado pela mesma. Segundo o Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de massa específica é kg/m³. A fórmula chega a ser parecida com a da densidade, a diferença é de que a massa específica só considera apenas o volume preenchido, enquanto isso, a densidade considera todo o volume, incluindo os índices de vazios (FÍSICA..., 2017).

5.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

A resistência de um material é a capacidade de este resistir à tensão de ruptura. O concreto tem como característica mais importante a sua resistência a compressão que é medida através de ensaios de compressão axial, onde são confeccionados corpos de prova, onde os mesmos são submetidos a uma prensa onde a carga (em tonelada força) vai aumentando de acordo com a força aplicada, causando a ruptura do corpo de prova quando o mesmo atinge a sua resistência máxima. Estes ensaios são necessários para o controle de qualidade do concreto utilizado na estrutura. Existem alguns fatores que interferem diretamente na resistência à compressão do concreto (PAIVA, 2013).

O fator água/cimento é o primeiro que vamos citar, por ser o principal responsável pela resistência à compressão. O fator de água/cimento expressa a relação direta entre a quantidade de cimento utilizado na massa e a quantidade de água. O principal motivo que relaciona diretamente o fator de água/cimento com a resistência à compressão do concreto é o índice de vazios, quando este fator é pequeno, portanto, um fator de água/cimento menor, ocasionará um contato maior

entre os elementos componentes da massa, oferecendo assim uma maior resistência (PAIVA, 2013).

O tipo de cimento também é um fator a ser falado, por mais que em geral, a influência deste fator não seja tão relevante, o tipo de cimento é mais utilizado para ajustar outras características do concreto. Segundo Metha e Monteiro (1994), a composição do cimento influenciará sobre o índice de vazios da matriz, consequentemente na resistência do concreto, ficando limitada as baixas idades (PAIVA, 2013).

Outro fator muito importante na resistência à compressão do concreto é o tempo de cura. Uma cura inadequada ou em uma temperatura não ideal pode ocasionar uma perda de água prematura do concreto, acarretando em espaços vazios, reduzindo a resistência. Para concreto de cimento Portland, o normal é que a cura média seja de 28 dias, atingindo a partir daí a sua resistência máxima. A cura foi feita totalmente seguindo a norma que a rege. (PAIVA, 2013).

O adensamento é importante para evitar e eliminar os vazios mais aparentes, é feito imediatamente a partir da concretagem, sendo utilizado em concretos estruturais através de vibração que deve ser feita tomando os devidos cuidados para que não ocorram excessos que pode causar segregação do material, perda de aderência com a armadura ou pontos sem vibração, resultando em vazios. A norma que rege o adensamento de corpos de prova é a NBR 5738 (ABNT, 1994), caso não sejam seguidos estes padrões, podem ocorrer resultados errôneos da resistência do concreto a compressão. A figura 8 a seguir exemplifica um adensamento mecânico feito por vibrador (PAIVA, 2013).

Figura 8 – Corpos de prova sendo adensados



Fonte: Arquivo do autor (2018).

5.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Devemos levar em consideração a absorção, que é uma medida de umidade para amostra com partículas na condição saturada com superfície seca (SSS), sendo assim, a absorção mede a quantidade de água que provavelmente preencherá os poros comunicantes nos grãos de uma massa de agregados.

$$A = \left(\frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \right) \times 100$$

Onde “A” é equivalente a absorção em porcentagem, Msat se refere ao peso saturado do corpo de prova e Ms é equivalente ao peso seco do corpo de prova.

A relação direta da absorção do agregado é a quantidade dos vazios ou o índice de vazios aparente dos grãos sólidos. As rochas ígneas e metamórficas geralmente têm valores inferiores a 0.5%, dificilmente excedendo 1,0%. Além disso, alguns tipos de basaltos são tratados como exceções por terem alta absorção. As maiores capacidades de absorção são das rochas sedimentares, alguns agregados também são altamente porosos onde a absorção chega facilmente aos 10%, os lateríticos ou lateritas (PAIVA, 2013).

6 TÉCNICAS EXPERIMENTAIS PARA ESTUDO DA MICROESTRUTURA

Para entendermos o comportamento de toda e qualquer estrutura, saber o que influencia o seu comportamento, muitas vezes é necessário examinar os seus elementos estruturais, conseguir decifrar as formas de agrupamento das partículas, tendo assim uma ideia de como o seu comportamento afetará no seu desempenho. Por isso, o estudo da microestrutura se torna importante em toda e qualquer desenvolvimento de um novo material ou a substituição de algum material já existente, buscando o mesmo desempenho ou até mesmo melhor, se dando pela contribuição que o estudo da microestrutura tem de entender as relações existentes entre as partículas que formam aquele material, permitindo predizer as propriedades do mesmo quando essas relações forem estabelecidas (PAIVA, 2013).

A seguir, algumas técnicas experimentais que auxiliam na análise da estrutura interna dos materiais, segundo Paiva (2013).

6.1 ESPECTROSCOPIA POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X (FRX)

Se trata de uma técnica analítica relativamente simples, na maioria das vezes não destrutiva, onde é usada na determinação qualitativa e quantitativa de elementos que compõe a amostra, sendo uma das técnicas mais utilizadas na geoquímica. Esta técnica também é muito existente na indústria mineral, tanto a de exploração como a de beneficiamento, principalmente para controles de processos. Além dessas utilizações, as principais aplicações na geoquímica são para determinações de solos e sedimentos, elementos maiores, menores e traços de rochas. Os resultados desta técnica analítica, também conhecida como FRX, são sempre concentrações elementares totais, também podendo ser útil na análise de amostras mineralizadas para determinação de elementos em concentração anômalas (PAIVA, 2013).

Figura 9 – Equipamento utilizado para ensaio de FRX



Fonte: Ensaios... (2017b).

Esta fluorescência de raios X se dá quando os elementos presentes na amostra são atingidos por raios X oriundos de um tubo com o mesmo raio. Quando o raio X incide nos átomos da amostra, os raios primários ejetam elétrons das camadas mais próximas do núcleo, causando espaços. Estes espaços são imediatamente preenchidos por elétrons da camada mais externa, coincidindo com a emissão de raios X, cuja energia é correspondente à diferença entre as energias dos níveis e sub níveis das transições eletrônicas envolvidas (PAIVA, 2013).

6.2 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX)

Esta é a técnica de caracterização de materiais mais indicadas na determinação das fases cristalinas presentes nos materiais. Apesar de fornecer os elementos químicos presentes em uma amostra, uma análise química não informa quais os tipos de ligações, não sendo suficiente para identificar as suas fases. Sendo assim, a difração de raios X é necessária para obter informações sobre a estrutura, estado dos materiais policristalinos e a sua composição, permitindo até determinar a distância interplanar no caso de materiais laminares. Além da necessidade desta análise, pode-se destacar algumas outras vantagens na utilização da mesma, como: a simplicidade e rapidez do método, a confiabilidade dos resultados, a possibilidade

de análise de materiais compostos por uma mistura de fases e uma análise quantitativa das mesmas (PAIVA, 2013).

Figura 10 – Equipamento utilizado para ensaio de difração de raio X



Fonte: Ensaios... (2017a).

6.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Trata-se de um equipamento muito versátil que permite a obtenção de informações estruturais e químicas de diversas amostras. O MEV utiliza um feixe de elétrons no lugar de fótons (utilizados em um microscópio convencional), isto permite solucionar o problema de resolução, comum em outros microscópios, relacionado com a fonte de luz branca. Este equipamento pode fornecer rapidamente informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos que componham uma amostra sólida (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

Esta vantagem de ter uma alta resolução, na ordem de 2 a 5 nm é o que possibilita o MEV uma superioridade sobre os outros microscópios, uma vez que atualmente existem instrumentos com até 1 nm. Além desta vantagem é importante citar a sua elevada profundidade de foco e também a possibilidade de combinar a

análise microestrutural com a microanálise química (PAIVA, 2013).

Este aparelho funciona gerando uma imagem formada pela incidência de um feixe fino de elétrons de alta energia na superfície da amostra sob vácuo, causando um choque dos elétrons com a amostra, possibilitando que parte do feixe refletido e coletado por detectores sejam convertidos em uma imagem de elétrons retroespalhados, “Auger” ou de elétrons secundários.

7 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL UTILIZADO

Antes de apresentar os resultados dos ensaios dos materiais utilizados, é importante frisar que não foi necessário a realização de alguns ensaios para esta pesquisa, tendo em vista que o material utilizado foi retirado da mesma jazida onde também foi retirado o material para a confecção do trabalho em que este tem como referência.

7.1 REJEITO PROVENIENTE DA EXTRAÇÃO DA SCHEELITA

O rejeito proveniente da Scheelita trata-se de um sedimento de granulometria arenosa que é resultado da trituração de uma rocha metamórfica, esta sendo hóspede do mineral Scheelita. Rocha esta que não é comercializada pela Mineração Tomaz Salustino S/A, sendo tratada então como rejeito e estocada em montes ao ar livre.

Estes ensaios foram os mesmos realizados para a caracterização do agregado miúdo, no caso a areia, tendo em vista que este rejeito fará a substituição da areia no traço. Foram inclusos também as mesmas análises químicas, devido a necessidade de conhecimento da microestrutura do novo material utilizado (PAIVA, 2013).

7.2 GRANULOMETRIA

Segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003), o objetivo do ensaio de granulometria é classificar as partículas de uma amostra a partir de seus tamanhos e as suas frações correspondentes. O ensaio segue o seguinte passo: secagem do material em estufa, no mínimo 500g, após isso o mesmo é colocado em diversas peneiras alterando a granulometria de uma para a outra. As frações retidas são pesadas e então calculado o percentual em massa (PAIVA, 2013).

Este resultado possibilita a determinação da dimensão máxima ($D_{máx}$) do agregado miúdo como sendo a abertura da malha em milímetros, restando uma porcentagem acumulada igual ou inferior a 5% e o módulo de finura como sendo a soma de todas as porcentagens retidas nas peneiras (PAIVA, 2013).

No caso do rejeito proveniente da extração da Scheelita, podemos classifica-

lo como “areia fina” já que a sua granulometria tem o seu diâmetro máximo e módulo de finura variando entre 0,15 mm e 0,6 mm, como mostra a tabela 3 abaixo (PAIVA, 2013).

Tabela 3 – Ensaio granulométrico do rejeito da Scheelita realizado no laboratório de materiais da UFRN.

D (mm)	Material retido (g)	Porcentagem (%)	
		Retida	Acumulada
4,8	0,00	0,00	0,00
2,4	0,40	0,04	0,04
1,2	41,00	4,10	4,14
0,6	229,70	22,97	27,11
0,3	348,70	34,87	61,98
0,15	275,80	27,58	89,56
< 0,15	104,40	10,44	100,00
Total	1000,00	-	-

Fonte: Paiva (2013).

Vale lembrar ainda que a “areia fina” não é a ideal para a confecção de concreto, mesmo assim, isso não impede que o rejeito seja usado para a substituição do agregado miúdo, se o concreto atingir as resistências à compressão estipuladas pela NBR 6118.

7.3 MASSA ESPECÍFICA

O ensaio de massa específica baseia-se na NBR NM 52 (ABNT, 2009), onde tem como objetivo determinar a massa específica de um agregado miúdo por meio do Frasco de Chapman. Neste ensaio, a massa específica é determinada da seguinte maneira: introduz 200 ml de água e 500 g do agregado no Frasco de Chapman, logo depois é registrado o volume final do conjunto, onde o resultado é obtido através da equação (PAIVA, 2013):

$$\rho_{esp} = \left(\frac{M}{L - L_0} \right)$$

Onde:

ρ_{esp} → massa específica;

M → massa do agregado;

L → leitura final da escala, dm^3 ;

L_0 → leitura da escala do frasco somente com água, dm^3 ;

Além disso, é necessário a verificação da massa unitária, que se trata da relação entre a massa do agregado inserido em um recipiente e o volume deste recipiente. Este ensaio é baseado na NBR NM 45 (ABNT, 2006) onde se determina a massa unitária e o volume de vazios do agregado miúdo. O ensaio segue os seguintes passos: preenche-se um recipiente até que o mesmo transborde, registrando a massa do recipiente mais o conteúdo. O resultado é dado pela seguinte equação (PAIVA, 2013):

$$\rho_{ap} = \left(\frac{M_{ar} - M}{V} \right)$$

Onde,

ρ_{ap} → massa unitária;

M_{ar} → massa do recipiente mais agregado, em kg;

M → massa do recipiente, kg;

V → volume do recipiente, em dm^3 ;

No caso do material utilizado, apesar de ter um módulo de finura menor do que a areia, foi atestado que o rejeito proveniente da extração da scheelita tem uma massa específica maior tendo uma massa específica de 2,89 g/cm³ e uma massa unitária de 1,66 g/cm³ (PAIVA 2013).

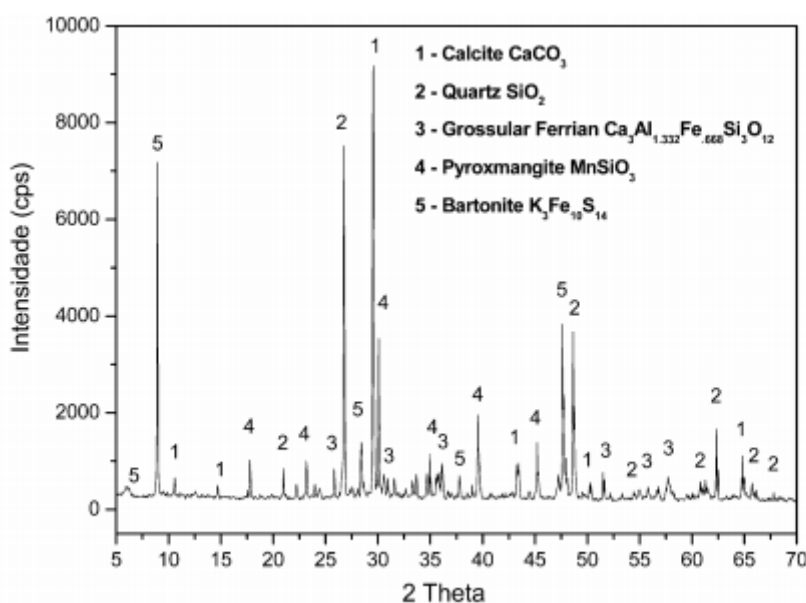
7.4 FRX E DRX DO REJEITO

Estas análises químicas foram realizadas com amostra do rejeito proveniente da extração da Scheelita, fornecidas pela Mineração Tomaz Salustino

S/A, mais precisamente da jazida da Mina Brejuí. Este material foi preparado e analisado no Laboratório de Processamento Mineral e de Resíduos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), no campus Natal – Central, onde a realização dos ensaios também foi feita no mesmo local. Foi utilizado como método para determinação da composição química o espectrofotômetro por fluorescência de raios X, usando o equipamento EDX-720 Shimadzu e o equipamento XDR.7000 Shmadzu. Além disso, é importante frisar que a amostra foi devidamente homogeneizada, peneirada e sua granulometria foi reduzida a uma partícula inferior a 200 mesh.

Segundo estudos realizados por Paiva (2013), através da análise de FRX, foi comprovado que o óxido de cálcio é o elemento que apresenta um maior percentual na composição do rejeito da Scheelita, além disso, no ensaio de DRX é notória a presença em predominância da calcita e do quartzo, respectivamente, sendo encontrado também a presença de outros elementos químicos a albita, anortita e biotita. Os resultados dos ensaios de DRX e FRX realizados no rejeito utilizado neste trabalho, podem ser observados na figura 10 e tabela 4 a seguir.

Figura 11 – Resultado do DRX do rejeito



Fonte: Medeiros (2016).

Tabela 4 – Resultado de FRX do rejeito

Composição	Resíduo natural Grosso (%)	Resíduo natural Fino (%)
CaO	77,38	61,51
SiO ₂	14,44	22,65
Fe ₂ O ₃	3,59	6,59
Al ₂ O ₃	3,46	7,45
K ₂ O	0,44	0,82
MnO	0,31	0,47
SO ₃	0,17	0,22
Yb ₂ O ₃	0,14	0,00
ReO ₂	0,03	0,07
HgO	0,02	0,00
WO ₃	0,02	0,19
NiO	0,00	0,03

Fonte: Medeiros (2016).

8 ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso tem por finalidade saber a resistência a compressão do concreto sustentável utilizando o rejeito proveniente do rejeito da Scheelita de acordo com a ABNT NBR 5739 (ABNT, 2007) que normatiza os ensaios de compressão para corpos de prova cilíndricos.

8.1 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS

Para este estudo de caso foram confeccionados 24 corpos de prova cilíndricos. Esta moldagem foi feita seguindo os parâmetros da NBR 5738 que normatiza o procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova. Desta forma, seguindo a NBR 6118 (ABNT, 2014) que normatiza os projetos de estruturas de concreto e procedimentos, foram escolhidas duas classes de agressividade ambiental (CAA). a CAA I que corresponde a resistência a compressão que o concreto estrutural precisa atingir em meio rural, no caso 20 MPa, e a CAA II que corresponde a resistência a compressão que o concreto precisa atingir a meio urbano, no caso 25 MPa, segundo a norma supracitada.

Desta forma, os primeiros 12 CPS (corpos de prova) foram com CAA I que representa a resistência a compressão do concreto estrutural para meio rural que, segundo o regimento da NBR 6118/2014, deve apresentar uma resistência de 20 MPa. Para isto, o traço utilizado teve proporções em kg de 1:2,17:3,52 (cimento, rejeito da Scheelita e brita, respectivamente) e um fator de água/cimento de proporção 0,50 em relação a quantidade de cimento, sendo utilizado o cimento Portland CP II-Z-32 RS da marca Poty e uma brita de diâmetro 19 mm. Os corpos de prova utilizados tinham dimensões de 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro.

Os 12 corpos de prova confeccionados posteriormente, no caso os que precisavam atingir a resistência a compressão de 25 MPa (CAA II), foram regidos exatamente pelas mesmas normas e mesmos procedimentos, havendo apenas mudança em seu traço. O traço utilizado para CAA II foi de 1 : 1,63 : 2,94 de cimento, rejeito da Scheelita e brita respectivamente, com um fator de água-cimento de 0,45 em relação a quantidade de cimento. Vale salientar que estes traços foram calculados, portanto não estão em norma.

O traço foi feito da seguinte maneira, primeiro, após lavagem da betoneira,

foi colocado a quantidade de brita necessária para a quantidade de corpos de prova e $\frac{1}{3}$ da água utilizada, a betoneira trabalhou por 3 minutos com esses dois elementos, logo após essa mistura foi adicionado a quantidade do rejeito da Scheelita necessária seguindo a proporção inicial e mais $\frac{1}{3}$ da água necessária sendo misturados por mais 3 minutos. Por último, foi adicionado a quantidade de cimento necessária e os últimos $\frac{1}{3}$ de água utilizado, por mais 3 minutos, finalizando assim o traço. Como mostram as figuras: figura 12, figura 13 e figura 14 a seguir.

Figura 12 – Corpos de prova em processo de moldagem



Fonte: Arquivo do autor (2018).

Figura 13 – Pasta de concreto após passar pela betoneira.



Fonte: Arquivo do autor (2018).

Figura 14 – Rejeito proveniente da Scheelita utilizado no traço.



Fonte: Arquivo do autor (2018).

A partir daí foi realizado o ensaio de abatimento seguindo os critérios da NBR NM 67 que normatiza a determinação da consistência pelo abatimento de cone do

concreto, obtendo assim um abatimento entre 10 mm e 30 mm. Partindo deste princípio e utilizando os parâmetros da NBR 5738 os corpos de prova foram moldados apenas com uma camada sendo o feito o adensamento mecânico com vibrador como estabelece a tabela 5 a seguir:

Tabela 5 – Numero de camadas para moldagem de corpo de prova

Tipo de corpo-de-prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	9	225
Prismático	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	--	--

¹⁾ Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

Fonte: NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Figura 15 – Ensaio de abatimento sendo realizado



Fonte: Arquivo do autor (2018).

Figura 16 – Ensaio de abatimento após retirada do cone



Fonte: Arquivo do autor (2018).

Seguindo ainda os critérios da NBR 5738 (ABNT, 2015) foi dado início ao procedimento de cura inicial, onde os moldes foram colocados em superfície plana e livre de vibração sendo desmoldados com 24h depois, devidamente identificados e pesados para que posteriormente fossem feitos os ensaios também de absorção. Após esses procedimentos os corpos de prova foram armazenados em câmara úmida como rege a norma supracitada até serem ensaiados com a idade de 28 dias. Como mostram imagens a seguir.

Figura 17 – Corpo de prova sendo adensado



Fonte: Arquivo do autor (2018).

Figura 18 – Pesagem do corpo de prova depois de desmoldado



Fonte: Arquivo do autor (2018).

8.2 ENSAIOS REALIZADOS

8.2.1 Ensaio de resistência a compressão

O ensaio de resistência a compressão axial foi feito com base na norma ABNT NBR 5739, que rege os ensaios de corpo de prova cilíndricos de concreto. Os corpos de prova depois de 28 dias de cura submersos em tanque com água como regido também na norma da ABNT NBR 5738 (ABNT, 2015), foram retirados do tanque em que estavam passando por este processo 24h antes do seu rompimento. Após isso, um por um, foram sendo colocados na prensa mecânica de compressão exatamente como a norma orienta, e foram rompidos um por um até apresentarem a ruptura. Este ensaio foi realizado no laboratório de materiais do UNI/RN.

A prensa é uma máquina de duas faces, o corpo de prova fica entre as duas, onde as mesmas vão se aproximando causando uma carga de compressão ao concreto, principal função deste material é resistir a uma carga deste tipo, também podendo ser considerada um esforço normal aplicado no mesmo. Quando o corpo de prova começa a apresentar fissuras esta máquina para de fazer o processo de aproximação das duas faces, mostrando assim quanto de carga foi necessário para

romper tal elemento.

Após este peso que superou o limite resistente ao rompimento, é necessário calcular a força resultante. Para isto usamos a fórmula que relaciona a razão entre o peso encontrado na prensa com a área do molde utilizado, tendo assim o resultado da carga resultante em tonelada força. Além disso, é necessário multiplicar esse valor por uma constante para que o resultado seja apresentado em MPa.

Esta norma também orienta quanto ao tipo de fissura encontrada no CP, a forma como o mesmo rompeu, como posicioná-lo na prensa e como calcular a sua resistência final em MPa, uma vez que o resultado expressado na máquina é em tonelada força. As figuras 19 e 20 a seguir mostra o corpo de prova já na prensa.

Figura 19 – Corpo de prova de concreto sofrendo com esforço de compressão



Fonte: Arquivo do autor (2018).

Figura 20 – Corpo de prova de concreto sofrendo com esforço de compressão



Fonte: Arquivo do autor (2018).

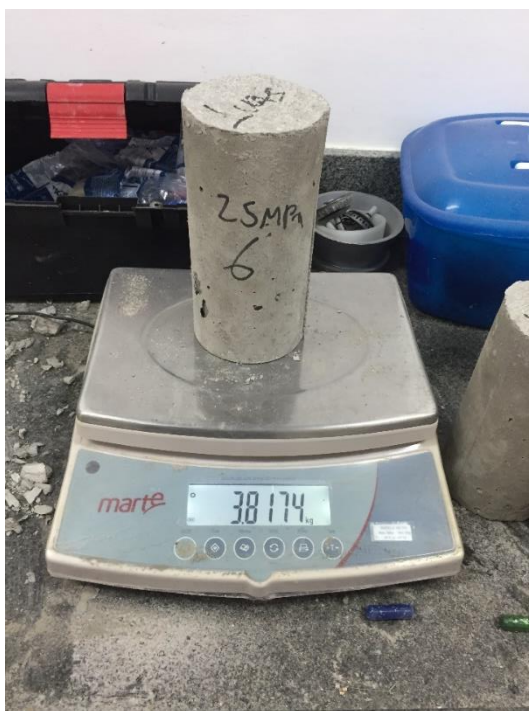
8.2.2 Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água foi regido pela norma da ABNT NBR 9778 (ABNT, 2005) que prescreve o modo pelo qual deve ser executado o ensaio para determinação de absorção água sobre argamassa e concreto endurecido, ensaio este por imersão, além de também orientar sobre os procedimentos para cálculo do índice de vazios e massa específica.

O teste foi feito com 5 corpos de prova de classe de agressividade ambiental I e outros 5 corpos de prova de classe de agressividade ambiental II. Após a desmoldagem do corpo de prova com o tempo de 48h foram feitas as primeiras pesagens com uma balança de precisão, as pesagens posteriores foram feitas após a retirada dos CPS da cura, em um tempo de 28 horas. Logo após este procedimento, os 5 corpos de prova de cada agressividade foram postos na estufa por 24h para que não existisse nenhum tipo de umidade contido nos mesmos. Após o procedimento na estufa foram feitas as pesagens dos corpos de prova secos para que se tivesse um parâmetro. Além disso, os corpos de prova seguiram a orientação de moldagem regida pela norma da ABNT NBR 5738, (ABNT, 2015) como citado no tópico deste trabalho que fala sobre as moldagens.

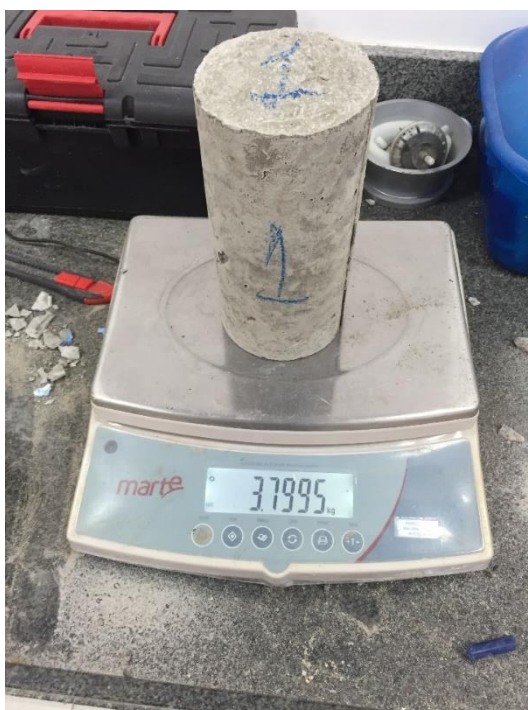
Após a pesagem dos corpos de prova seco, os 10 corpos de prova foram colocados a cura em um tanque de água onde ficaram em completa imersão pela idade de 28 dias. Como mostram as figuras 21 e 22 a seguir.

Figura 21 – Pesagem do corpo de prova de classe de agressividade ambiental II sendo pesado seco



Fonte: Arquivo do autor (2018).

Figura 22 – Pesagem do corpo de prova de concreto de classe de agressividade ambiental I sendo pesado seco



Fonte: Arquivo do autor (2018).

9 RESULTADOS DOS ENSAIOS

9.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

Os corpos de prova foram submetidos a um ensaio de resistência a compressão axial, tanto os de CAA I como os de CAA II, todos orientados e regidos pelas normas supracitadas, desde o início da moldagem até o momento da ruptura.

9.1.1 Corpos de prova para classe de agressividade ambiental I

Este tipo de concreto, segundo a norma da ABNT NBR 6118, deve atingir uma resistência a compressão de 20 MPa, ou seja, esta é a tensão em que o concreto aguentará no seu rompimento. Além disto, este tipo de agressividade ambiental se enquadra em construções para áreas rurais. Foram feitos os ensaios, como citado anteriormente, em 12 corpos de prova desta classe de agressividade ambiental e o resultado foi satisfatório, como mostra a tabela 6 a seguir. Dos 12 CPS, 5 ficaram com resistência à compressão inferior e 7 CPS ficaram com resistência à compressão superior. Além disso o desvio padrão foi feito pela fórmula da raiz quadrada, do somatório, do quadrado da diferença entre a média e o valor encontrado, em razão do número de valores, resultando em 0,93.

Tabela 6 – Resultados da resistência a compressão

TABELA DE RESISTENCIA A COMPRESSÃO (PREVISTO 20 MPa)			
CP	ÁREA Cm ²	VALOR EM Kgf	RESISTÊNCIA EM MPa
1	78,53982	18520,0000	23,1245
2	78,53982	16760,0000	20,9269
3	78,53982	13200,0000	16,4818
4	78,53982	21490,0000	26,8329
5	78,53982	14480,0000	18,0800
6	78,53982	18120,0000	22,6250
7	78,53982	16110,0000	20,1153
8	78,53982	14730,0000	18,3922
9	78,53982	17100,0000	21,3514
10	78,53982	15630,0000	19,5160
11	78,53982	21880,0000	27,3198
12	78,53982	15040,0000	18,7793
MÉDIA FINAL			21,12875512

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Os ensaios foram feitos em uma prensa hidráulica com indicador digital, capacidade para 100 toneladas da marca Solotest como mostra nas figuras 23 e 24 a seguir. Lembrando que o resultado dado na prensa é em tonelada força.

Figura 23 – Corpo de prova sendo submetido a compressão pela prensa

Fonte: Arquivo do autor (2018).

Figura 24 – Corpo de prova após o rompimento



Fonte: Arquivo do autor (2018).

9.1.2 Corpos de prova para classe de agressividade ambiental II

Este tipo de concreto, segundo a norma da ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014), devem atingir uma resistência a compressão de 25 MPa, ou seja, esta é a força em que o concreto aguentará antes de romper. Este tipo de agressividade ambiental é para o enquadramento de construções em meio urbano. Foram feitos os mesmos ensaios, utilizando as mesmas normas como parâmetro e também foram realizados em 15 corpos de prova para este enquadramento. O resultado foi satisfatório e os corpos de prova atingiram a resistência necessária como recomenda a norma. Onde 3 CPS ficaram com resistência à compressão inferior e 9 CPS ficaram com resistência a compressão superior. Além disso o desvio padrão foi feito pela fórmula da raiz quadrada, do somatório, do quadrado da diferença entre a média e o valor encontrado, em razão do número de valores, resultando em 0,59. A tabela 7 a seguir mostra os resultados.

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de resistência a compressão para CAA II

TABELA DE RESISTENCIA A COMPRESSÃO (PREVISTO 25 MPa)			
CP	ÁREA Cm ²	VALOR EM Kgf	RESISTÊNCIA EM MPa
1	78,53982	18060,00	22,5501
2	78,53982	19610,00	24,4855
3	78,53982	21650,00	27,0327
4	78,53982	20900,00	26,0962
5	78,53982	23020,00	28,7433
6	78,53982	23090,00	28,8307
7	78,53982	19710,00	24,6103
8	78,53982	22100,00	27,5945
9	78,53982	22680,00	28,3187
10	78,53982	23600,00	29,4675
11	78,53982	23240,00	29,0180
12	78,53982	22000,00	27,4697
		MÉDIA FINAL	27,01808606

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

9.2 RESULTADOS DO ENSAIO ABSORÇÃO DE ÁGUA

9.2.1 Resultados para corpos de prova de CAA I

Os ensaios de absorção de água foram regidos pela norma da ABNT NBR 9778 (ABNT, 2005) que rege e orienta este tipo de ensaio. Para a classe de agressividade ambiental I foram feitos testes em 5 corpos de prova e o procedimento ocorreu segundo o tópico 3.2.2 deste trabalho. A tabela 8 abaixo mostra os resultados de absorção para este tipo de classe de agressividade ambiental. Estes ensaios, das duas classes ambientais, foram realizados no laboratório de materiais do UNI/RN.

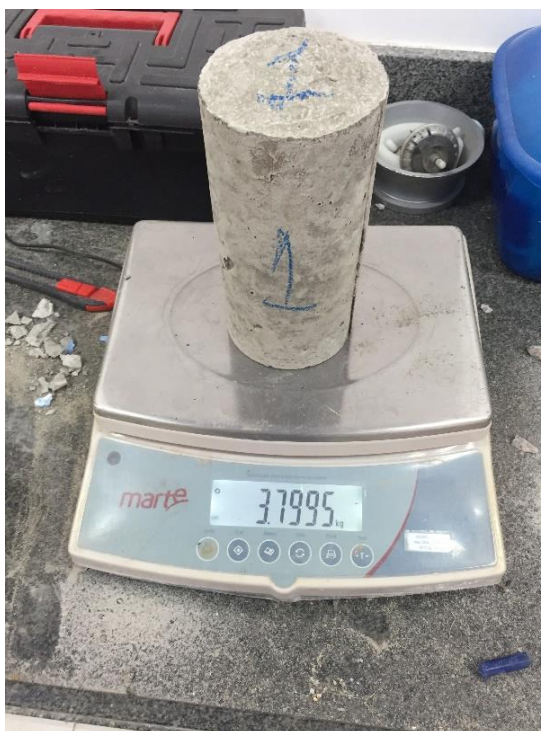
Tabela 8 – Absorção de água para classe de agressividade ambiental I

TABELA DE ABSORÇÃO (CAA I)			
CP DE 20 MPa	PESO INICIAL	PESO FINAL	TAXA DE ABS (%)
1	3,7995	3,9514	4,00
2	3,7443	3,9247	4,82
3	3,7968	3,8441	1,25
4	3,8197	3,8941	1,95
5	3,8818	3,9831	2,61
		MÉDIA	2,92

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Segundo a norma que rege este tipo de ensaio, a absorção máxima permitida é de 10%, portanto o concreto produzido com o rejeito proveniente da extração da Scheelita está dentro da norma. A imagem 23 abaixo mostra a pesagem de um dos corpos de prova.

Figura 25 – Corpo de prova sendo pesado antes da cura



Fonte: Arquivo do autor (2018).

9.2.2 Resultados para corpos de prova de CAA II

Os ensaios de absorção de água foram também regidos pela norma da ABNT NBR 9778 que rege e orienta este tipo de ensaio. Para a classe de agressividade ambiental II foram utilizados os mesmos procedimentos segundo o tópico 3.2.2 deste trabalho, assim como foram usados 5 corpos de prova. A tabela 9 abaixo mostra os resultados de absorção para este tipo de classe de agressividade ambiental.

Tabela 9 – Absorção de água para classe de agressividade II

TABELA DE ABSORÇÃO (CAA II)			
CP DE 25 MPA	PESO INICIAL	PESO FINAL	TAXA DE ABS (%)
1	3,8633	3,9876	3,22
2	3,8932	4,1232	5,91
3	3,8524	4,1124	6,75
4	3,8653	4,1335	6,94
5	3,7937	3,9775	4,84
		MÉDIA	5,53

Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Assim como os resultados dos cinco corpos de prova da classe de agressividade ambiental I, os desta classe também se mantiveram dentro dos padrões da norma. A foto 24 abaixo mostra um dos corpos de prova para esta agressividade sendo pesado antes de ser posto à cura.

Figura 26 – Corpo de prova sendo pesado antes da cura



Fonte: Arquivo do autor (2018).

9.3 TIPOS DE RUPTURA

Segundo a norma da ABNT NBR 5738 (ABNT, 2015) é necessário classificar os tipos de ruptura nos corpos de prova que passaram pelo ensaio de compressão. Tendo em vista o anexo da norma que mostra os tipos de ruptura que podem aparecer nos corpos de prova após a fissuração, percebemos que os corpos de prova deste trabalho apresentaram 4 tipos de ruptura, sendo elas cônica e bipartida, fraturas no topo, fratura na base e tipo cisalhada, caracterizando os tipos B, E e F como mostra a imagem 28 abaixo com os tipos de ruptura e as imagens 25, 26, 27 e 28 com os corpos de prova apresentando tais rupturas.

Figura 27 – Tipos de ruptura

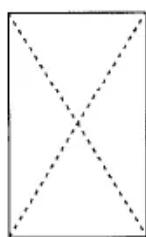


Figura A.1 – Tipo A – Cônica e cônica afastada 25 mm do capeamento

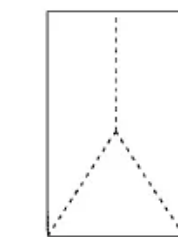


Figura A.2 – Tipo B – Cônica e bipartida e cônica com mais de uma partição

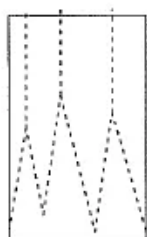
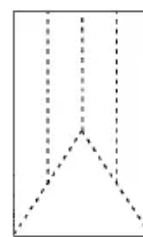


Figura A.3 – Tipo C – Colunar com formação de cones

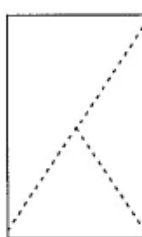


Figura A.4 – Tipo D – Cônica e cisalhada



Figura A.5 – Tipo E Cisalhada



Figura A.6 – Tipo F – Fraturas no topo e/ou na base abaixo do capeamento



Figura A.7 – Tipo G – Similar ao tipo F com fraturas próximas ao topo

Fonte: NBR 5738 (ABNT, 2015).

Figura 28 – ruptura de fratura no topo



Fonte: Arquivo do autor (2018).

Figura 29 – ruptura de fratura de base



Fonte: Arquivo do autor (2018).

Figura 30 – Ruptura tipo cônica e bipartida



Fonte: Arquivo do autor (2018).

Figura 31 – ruptura por cisalhamento



Fonte: Arquivo do autor (2018).

10 CONCLUSÕES

Tendo em vista que todos os ensaios realizados deram resultados positivos e estão assegurados por norma é possível que a utilização do rejeito proveniente da Scheelita no concreto é bastante proveitosa. Tendo em vista todos os ensaios realizados e os resultados apurados tanto com a resistência a compressão do material como a absorção, sabendo que os mesmos estão assegurados por norma é possível a utilização deste material como concreto estrutural para obras em meio rural e meio urbano, onde justamente se aplicam as classes de agressividade I e II.

Além disto, os objetivos desse projeto se tornam possíveis, uma vez que este rejeito proveniente da Scheelita que não tem valor comercial ultimamente, passa a ser fonte de renda para trabalhadores da região.

Pode-se também citar a viabilidade econômica que trará ao traço do concreto convencional, uma vez que passamos a utilizar um material sem custo inicial no lugar de um material em escassez e com um custo econômico. Uma vez que o custo do metro cúbico do concreto segundo o SINAPI é de 279,36 reais, sendo 63,00 reais correspondente ao metro cúbico da areia, tornando o metro cúbico do concreto sustentável utilizando o rejeito da Scheelita por um custo de 216,36 reais, uma economia de mais ou menos 22%.

Um dos pontos mais importantes deste trabalho é a sustentabilidade do concreto, um tema que vem crescendo constantemente e que trará muitos benefícios para a região de Currais Novos no Rio Grande do Norte, uma vez que os problemas ambientais causados pelas dunas de armazenamento do rejeito proveniente da extração da Scheelita serão sanados.

REFERÊNCIAS

A MINA BREJUÍ EM CURRAIS NOVOS/RN: a maior mina de Scheelita da América do Sul. **Vento Nordeste**, 17 maio 2014. Disponível em: <<https://paperimum.blogspot.com/2014/05/a-mina-brejui-em-currais-novos-rn-maior.html>>. Acesso em 5 jul. 2018.

ARAÚJO, R. C. L.; RODRIGUES, E. G. V.; FREITAS, E. G. A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: Universidade Rural, 2000. Disponível em: <http://www.grandesconstrucoes.com.br/br/images/stories/1802_G.jpg>. Acesso em: 19 nov. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5732**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739**: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projetos de estruturas de concreto - procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NM248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ANDRADE, M. C. Mineração no Nordeste: depoimentos e experiências. Brasília: CNPq, Assessoria Editorial e Divulgação Científica, 1987.

CONCRETO fresco. Disponível em:
<<http://www.grandesconstrucoes.com.br/Materias/Exibir/nova-norma-sobre-concreto-de-cimento-portland-favorece-mercado>>. Acesso em: 09 jul. 2018.

CURRAIS NOVOS. Wikipédia, 26 jun. 2018. Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Currais_Novos>. Acesso em 5 jul. 2018.

DEDAVID, Berenice Anina; GOMES, Carmem Isse; MACHADO, Giovana.
Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparações de amostras. 2007. Disponível em: <<http://puhrs.br/edipuhrs/online/microscopia/microscopia.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

ENSAIOS QUÍMICOS: Difração de Raios-x (DRX). **AFINKO: soluções em** polímeros, 2017a. Disponível em: <<http://afinkopolimeros.com.br/servicos/ensaios-laboratoriais/ensaios-quimicos/>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

ENSAIOS QUÍMICOS: Fluorescência de Raios-X (FRX). **AFINKO: soluções em** polímeros, 2017b. Disponível em: <<http://afinkopolimeros.com.br/servicos/ensaios-laboratoriais/ensaios-quimicos/>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

FÍSICA: massa específica. **Toda Matéria**, 22 fev. 2017. Disponível em:
<<https://www.todamateria.com.br/massa-especifica/>>. Acesso em: 28 maio 2018.

MEDEIROS, Mauriceia. **Estudos de argamassa de revestimento com resíduo de Scheelita.** 2016. 88 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO. **Mina Brejuí.** 2015. Disponível em:
<<https://minabrejuui.com.br/>>. Acesso em 5 jul. 2018.

MINERAL: Scheelita. **Clube dos Minerais**, 31 maio 2014. Disponível em:
<<http://clubedominerais.blogspot.com/2014/05/mineral-scheelita.html>>. Acesso em 5 jul. 2018.

PAIVA, Emanuel Henrique Gomes. **Avaliação do concreto de cimento Portland com resíduo da produção de scheelita em substituição ao agregado miúdo.** 2013. 105 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

SOARES, Canindé. **Vista aérea do município Currais Novos/RN [imagem].** 2017.