



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

RENATO LOPES DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO
DIAMETRAL EM CONCRETO FABRICADO COM PÓ DE PEDRA EM
SUBSTITUIÇÃO A AREIA NATURAL.**

CARAÚBAS

2021

RENATO LOPES DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO
DIAMETRAL EM CONCRETO FABRICADO COM PÓ DE PEDRA EM
SUBSTITUIÇÃO A AREIA NATURAL.**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Aldilene Bezerra Pinheiro, Prof. Esp.

CARAÚBAS/RN

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

048a Oliveira, Renato Lopes de.
ANÁLISE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO E TRAÇÃO
POR COMPRESSÃO DIAMETRAL EM CONCRETO FABRICADO
COM PÓ DE PEDRA EM SUBSTITUIÇÃO A AREIA NATURAL. /
Renato Lopes de Oliveira. - 2021.
62 f. : il.

Orientadora: Aldilene Bezerra Pinheiro.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2021.

1. Pó de pedra. 2. Areia natural. 3. Concreto
sustentável. 4. Viabilidade. I. Pinheiro,
Aldilene Bezerra, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RENATO LOPES DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO
DIAMETRAL EM CONCRETO FABRICADO COM PÓ DE PEDRA EM
SUBSTITUIÇÃO A AREIA NATURAL.**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em Ciência
e Tecnologia.

Defendida em: 17 / 11 / 2021.

BANCA EXAMINADORA

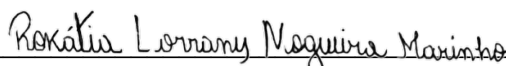


Aldilene Bezerra Pinheiro, Prof. Esp. (UFERSA)
Presidente

ALISON KAIO DANTAS PEREIRA:10166303445

Assinado digitalmente por ALISON KAIO DANTAS PEREIRA:10166303445
DN: CN=ALISON KAIO DANTAS PEREIRA:10166303445, OU=UFERSA -
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, C=BR
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização: sua localização de assinatura aqui
Data: 2021.11.25 08:23:46-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 11.1.0

Alisson Kaio Dantas Pereira, Tec. Esp. (UFERSA)
Membro Examinador



Rokátia Lorrany Nogueira Marinho, Prof. Esp. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças para a realização desse trabalho, bem como para seguir trilhando todo o caminho percorrido até aqui.

Agradeço a meus pais, Josefa Maria da Conceição Oliveira e Jairzinho Lopes de Oliveira, os quais sempre se fizeram presentes e puderam me proporcionar que esse momento esteja se concretizando. Bem como ao meu irmão Kaio Emanuel Lopes de Oliveira, que apesar de tão pequeno, emana força e dedicação para eu não desistir dos meus sonhos. Agradeço também a toda minha família, por todas as contribuições e tudo o que me proporcionaram durante toda essa trajetória.

Agradeço também a minha orientadora Aldilene Bezerra Pinheiro pela aceitação do convite, pela disposição e todo conhecimento repassado durante a realização desse trabalho e também do curso. A minha professora e componente da banca examinadora Rokatia Lorrany Nogueira Marinho pela aceitação para compor a mesma e por todo o conhecimento repassado ao decorrer das suas disciplinas ministradas. Agradecer também ao meu ex professor e atual técnico de laboratório Alisson Kaio Dantas Pereira, pela aceitação para compor a banca examinadora e por todo o acompanhamento e conhecimento repassado no laboratório e em sala de aula.

Agradecer também a todos os meus amigos que se fizeram presente durante essa árdua jornada, em especial aos conterrâneos da minha cidade, companheiros de curso e de apartamento. Somente agradecer por toda os momentos vivenciados sejam eles bons ou ruins, os quais são necessários para a trajetória valer a pena.

E por fim, porém não menos importante, quero agradecer a todos que fazem parte da caieira de Almino Afonso/RN, local onde tenho bastante admiração e desenvolvi a minha pesquisa. Agradecer também aos que fazem parte da pedreira potiguar localizada na cidade de Caraúbas/RN. Agradecer pelo fornecimento do material e pela receptividade em ambos os locais, minha eterna gratidão a todos vocês.

“Lute com determinação, abrace a vida com paixão, perca com classe e vença com ousadia, porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é muito bela para ser insignificante.”

Charlie Chaplin

RESUMO

Com a evolução dos processos construtivos na engenharia civil, surgiu então a necessidade da exploração de uma maior quantidade de materiais naturais. A extração de areia nos leitos dos rios vem se tornando uma prática cada vez mais comum, provocando assim fatores negativos para os mesmos, como a desregularização da vazão dos cursos d'água; alteração da calha original dos cursos d'água; entre outros. A distância entre os rios e os grandes centros, torna o material final mais caro. Sendo assim, o presente trabalho teve como finalidade verificar a viabilidade da substituição da areia natural parcial e total pelo pó de pedra para a fabricação de concreto. A metodologia utilizada para alcançar o objetivo do trabalho foi uma pesquisa bibliográfica e experimental com abordagem quantitativa. Após a coleta de todo o material necessário, foi realizado alguns ensaios de granulometria, onde podemos constatar que o pó de pedra é um material mais fino que a areia. Também foi realizado o ensaio de teor de umidade, onde o pó de pedra se apresentou com menor valor quando comparado a areia. Ao todo foram confeccionados 45 corpos de prova, e esses corpos de prova eram do tipo cilíndrico e possuía as seguintes dimensões: 100 mm x 200 mm. A análise da substituição da areia pelo pó de pedra ocorreu nos seguintes teores: 0%; 25%; 50%; 75% e 100%. Em seguida foi realizado a dosagem dos concretos, na qual foram fabricados 5 diferentes traços e realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone (slump test) em todos eles. Para verificar a resistência a compressão foi rompidos 3 corpos de provas distintos de cada traço aos 7 e aos 28 dias de cura, o mesmo foi feito para determinar a resistência a tração por compressão diametral aos 28 dias. Todos os ensaios citados foram realizados no laboratório de Engenharia Civil da UFERSA Campus Caraúbas/RN. Ao término do trabalho foi possível verificar um maior aumento da resistência a compressão no traço cuja dosagem era composta de 75% de pó de pedra. Aos 7 dias de cura, obtivemos um aumento de 22,75% e aos 28 dias um aumento de 24,36% da resistência a compressão. Em resumo, esse trabalho teve como intenção verificar a viabilidade estrutural, acrescida da economia pela obtenção do material e da melhoria ecológica por dar destinação a um material em desuso, com foco na cidade de Almino Afonso e um possível retorno financeiro para a pedreira e para a cidade como um todo. Portanto, de acordo com os dados apresentados, esse material se apresenta no mercado como uma alternativa viável para ser utilizado como agregado miúdo para confecção de concreto.

Palavras-chave: Pó de pedra. Areia natural. Concreto sustentável. Viabilidade.

ABSTRACT

With the evolution of construction processes in civil engineering, the need for the exploration of a greater amount of natural materials arose. The extraction of sand in river beds has become an increasingly common practice, thus causing negative factors for them, such as the deregularization of the flow of watercourses; alteration of the original trough of the watercourses; among others. The distance between rivers and large centers makes the final material more expensive. Thus, the present work aimed to verify the feasibility of replacing partial and total natural sand by stone powder for concrete manufacturing. The methodology used to achieve the objective of the study was a bibliographic and experimental research with quantitative approach. After collecting all the necessary material, some granulometry tests were performed, where we can see that stone powder is a thinner material than sand. The moisture content test was also performed, where the stone powder presented lower value when compared to sand. In all, 45 specimens were made, and these specimens were cylindrical and had the following dimensions: 100 mm x 200 mm. The analysis of the substitution of sand by stone powder occurred at the following levels: 0%; 25%; 50%; 75% and 100%. Then, the concrete was dosed, in which 5 different traces were manufactured and the slump test was performed in all of them. To verify the compressive strength, 3 distinct specimen bodies of each trait were ruptured at 7 and 28 days of cure, the same was done to determine the tensile strength by diametric compression at 28 days. All the tests mentioned were carried out in the Civil Engineering laboratory of UFRSA Campus Caraúbas/RN. At the end of the study it was possible to verify a greater increase in compressive strength in the trait whose dosage was composed of 75% of stone powder. At 7 days of cure, we obtained an increase of 22.75% and at 28 days an increase of 24.36% in compressive strength. In summary, this work aimed to verify the structural viability, increased by obtaining the material and ecological improvement by giving destination to a disused material, focusing on the city of Almino Afonso and a possible financial return for the quarry and for the city as a whole. Therefore, according to the data presented, this material is presented on the market as a viable alternative to be used as a kid aggregate for concrete making.

Keywords: Stone powder. Natural sand. Sustainable concrete. Viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Agregados utilizados na construção civil.....	18
Figura 2 – Britador do tipo mandíbula.....	22
Figura 3 – Britador giratório.....	22
Figura 4 – Consumo de cimento no Brasil ao longo dos anos.....	27
Figura 5 – Concreto Leve.....	31
Figura 6 – Concreto Auto-Adensável.....	32
Figura 7 – Localização de Almino Afonso/RN.....	35
Figura 8 – Extração de areia no rio.....	36
Figura 9 – Estocagem de pó de pedra.....	36
Figura 10 – Estocagem de brita na pedreira potiguar.....	37
Figura 11 – Cimento Portland CP II E – 32 – RS.....	37
Figura 12 – Separador de amostras.....	38
Figura 13 – Processo de peneiramento.....	40
Figura 14 – Materiais na estufa.....	41
Figura 15 – Lubrificação dos corpos de prova.....	42
Figura 16 – Corpos de provas submersos.....	44
Figura 17 – Processo de retificação dos corpos de prova.....	45
Figura 18 – Corpo de prova no ensaio de compressão.....	45
Figura 19 – Ensaio de tração por compressão diametral.....	46
Figura 20 – Areia passante nas malhas.....	48
Figura 21 – Pó de pedra passante nas malhas.....	49
Figura 22 – Material passante no peneiramento grosso.....	50
Figura 23 – Abatimento dos concretos.....	53
Figura 24 – Resultado do ensaio de tração por compressão diametral.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução da produção dos agregados para a construção civil.....	19
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos agregados quanto a sua origem.....	20
Quadro 2 – Classificação dos agregados quanto a massa unitária.....	20
Quadro 3 – Classificação segundo a forma dos grãos.....	21
Quadro 4 – Classificação das britas quanto as dimensões dos grãos.....	21
Quadro 5 – Principais aspectos e impactos ambientais provocados no processo de britagem....	25
Quadro 6 – Principais compostos do cimento Portland.....	26
Quadro 7 – Propriedades do concreto influenciadas pelas características do agregado.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exigências físicas e mecânicas.....	28
Tabela 2 – Exigências químicas.....	29
Tabela 3 – Quantidade de amostra para análise granulométrica.....	39
Tabela 4 – Massa mínima por amostra de ensaio.....	39
Tabela 5 – Série de peneiras.....	40
Tabela 6 – Composição dos traços fabricados.....	42
Tabela 7 – Número de camadas e socamento.....	43
Tabela 8 – Resultado do peneiramento da areia.....	47
Tabela 9 – Resultado de peneiramento do pó de pedra.....	48
Tabela 10 – Resultado do peneiramento da brita.....	49
Tabela 11 – Teor de umidade da areia.....	51
Tabela 12 – Teor de umidade do pó de pedra.....	51
Tabela 13 – Teor de umidade da brita.....	51
Tabela 14 – Resultado do abatimento dos concretos.....	52
Tabela 15 – Classificação das consistências do concreto.....	52
Tabela 16 – Abatimentos recomendados.....	53
Tabela 17 – Resistência a compressão dos corpos de prova.....	54
Tabela 18 – Resistência a tração por compressão diametral.....	55
Tabela 19 – Custos de mercado.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAA	Concreto Auto-Adensável
CAD	Concreto de alto desempenho
CAR	Concreto de alta resistência
CP	Corpo de prova
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos específicos	17
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	18
2.1	Agregados	18
2.1.1	Classificação dos agregados	20
2.2	Processo de britagem	21
2.3	Impactos ambientais	23
2.3.1	Impactos ambientais gerados pela extração da areia	23
2.3.2	Impactos ambientais gerados pelo processo de britagem	24
2.4	Cimento Portland	26
2.4.1	Propriedades físicas	27
2.4.2	Propriedades químicas	28
2.5	Concreto	29
2.5.1	Tipos de concretos	30
3.4.2	Dosagem dos concretos	33
3	METODOLOGIA	34
3.1	Tipologia da Pesquisa	34
3.2	Local de estudo	34
3.3	Materiais utilizados	35
3.4	Procedimentos e elaboração dos corpos de provas	38
3.4.1	Processo de granulometria	38
3.4.2	Teor de umidade	41
3.4.3	Dosagem dos concretos	41
3.4.4	Moldagem dos corpos de prova	42
3.5	Métodos de Análises	44
3.5.1	Ensaio de compressão	44
3.5.2	Ensaio de tração por compressão diametral	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1	Granulometria dos agregados	47
4.2	Teor de umidade dos materiais	50
4.3	Abatimento dos concretos	52

4.4 Resistência a compressão.....	53
4.5 Resistência a tração por compressão diametral	55
4.6 Viabilidade financeira.....	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, segundo Lima (2005), é uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais, consumindo entre 20 a 50% dos recursos naturais. Isso se deve, principalmente, às indústrias de cimento e de beneficiamento de agregados (pedra britada e areia). O autor ainda afirma que a produção brasileira, em 2003, de agregados naturais, foi de 320 milhões de toneladas, sendo 190 milhões de toneladas de areia e 130 milhões de pedra britada. E de acordo com dados fornecidos pela ANEPAC (2015), O setor de agregados para construção apresentou no ano de 2014 uma demanda da ordem de 740 milhões de toneladas de brita e areia.

Em virtude da elevada quantidade de materiais naturais extraídos do meio ambiente, surge então a necessidade de optar por técnicas e/ou materiais que tenham como finalidade a redução de impactos ambientais gerados. A extração da areia natural é responsável por causar impactos negativos significantes nos leitos dos rios, que é a principal fonte desse material.

Além da questão ambiental, a areia natural apresenta um valor comercial consideravelmente elevado. Menossi (2004), afirma que com o crescente aumento da demanda de areia natural no mercado nacional e a exaustão das reservas, principalmente próximas às grandes metrópoles e, considerando-se ainda o incremento dos custos de transporte, limites de peso transportados por eixo e aumento das distâncias de carga, a utilização deste insumo tem impactado, de maneira crescente, os custos do concreto.

A exaustão de áreas próximas aos grandes centros consumidores e a restrição desta atividade extrativa pelos órgãos de fiscalização ambiental conduz o mercado consumidor dos grandes centros urbanos a buscar agregados (areia e britas) em lavras cada vez mais distantes. Como consequência disso, tem-se a elevação do custo final do produto (cerca de 70%) e degradação em outras áreas (LIMA, 2005).

O pó de pedra por sua vez, trata-se de um material resultante da moagem de rochas em pedreiras, a areia de brita (ou pó de pedra) e é oriunda do peneiramento de britas à seco cuja granulometria está compreendida entre 4,75 – 0,075 mm. Abaixo desse valor mínimo, temos o que é conhecido como “finos de pedreira”, provenientes de processos de obtenção por sistemas de aeração (ventilação e exaustão) ou por vias de umidade (bacias de decantação). Neste último, o material gerado faz com que o assoreamento desses volumes d’água se torne desfavorável ao processo produtivo (CUCHIERATO, 2000).

Sendo assim, a alternativa de utilização do pó de pedra em substituição da areia natural surge como um fator responsável pela redução da quantidade de insumo natural extraído dos rios; redução do número de material depositado nos pátios das pedreiras e, também como um material que apresenta menor valor de mercado, tendo em vista que se trata de um rejeito proveniente do processo de britagem. A presente pesquisa tem como finalidade verificar as vantagens de substituição, parcial ou total, da areia natural pelo pó de pedra, considerando uma possível alternativa viável e sustentável para a construção civil.

1.1 Objetivos

Nesse tópico trataremos sobre os objetivos (geral e específico) no qual deve serem cumpridos ao término desse trabalho.

1.1.1 Objetivo geral

Realizar um levantamento teórico e prático sobre a produção e utilização do pó de pedra na construção civil, visando verificar a viabilidade de substituição parcial ou completa da areia natural, na intenção de reduzir impactos gerados ao meio ambiente.

1.1.2 Objetivos específicos

- Conhecer o processo de fabricação do pó de pedra;
- Avaliar a viabilidade ambiental e econômica do material;
- Analisar os efeitos da substituição da areia natural pelo pó de pedra na consistência do concreto;
- Realizar ensaio de compressão e tração diametral em concreto com diferentes dosagens.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Nessa seção será apresentada toda a fundamentação teórica utilizada para realização desse trabalho, na qual foi determinado alguns pontos base, como: os agregados utilizados na construção civil, o processo de britagem para geração do pó de pedra, o cimento Portland, alguns tipos de concretos existentes e as dosagens do mesmo.

2.1 Agregados

Frazão e Paraguassu (1998), definem que agregados são materiais granulares, na qual, não apresenta forma e volume definido e que podem ser classificados de diferentes formas. Quanto à origem, podem ser classificados em naturais e artificiais, os naturais por sua vez, são extraídos diretamente da natureza, em fragmentos, como areia e cascalho e, os artificiais são aqueles que passam por processos de fragmentação como britagem ou moagem. Podem ainda ser classificados de acordo com a densidade e o tamanho dos seus fragmentos.

Para Ribeiro (2002), agregados são os materiais que quando misturado ao cimento e a água, formam-se as argamassas e também os concretos. O autor complementa que os agregados podem ser classificados por diversos fatores, como a sua origem, classificação segundo a massa unitária e classificação segundo a forma dos grãos. E são responsáveis por constituir aproximadamente 70% do volume total dos produtos em que são utilizados. A Figura 1, abaixo, apresenta alguns dos diversos agregados utilizados na construção civil.

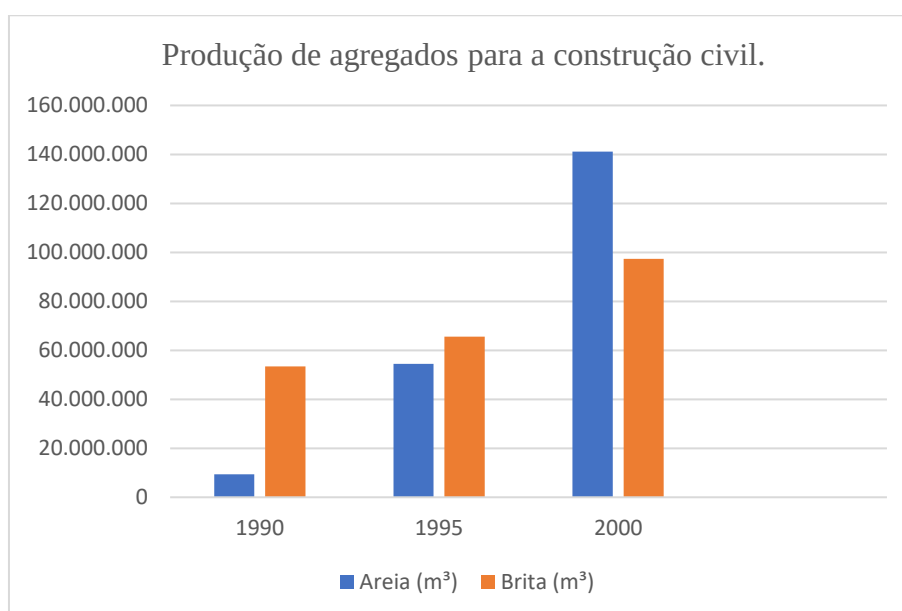
Figura 1: Agregados utilizados na construção civil.



Fonte: ANEPAC, 2015.

Valverde (2001), afirma que a produção de agregados para utilização na construção civil está espalhada por todo o território nacional, gerando inúmeros empregos diretos. Para a produção de brita (agregado graúdo), pode ser utilizado alguns tipos de rocha, tais como: granito e gnaiss – 85%; calcário e dolomito – 10%; como também, basalto e diabásio – 5%. A areia (agregado miúdo) por sua vez, é geralmente extraída de leito de rios, no entanto, podem também serem produzidas em várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, pegmatitos e arenitos decompostos. No Brasil, 90% da areia utilizada é derivada dos leitos dos rios. O Gráfico 1, a seguir, nos fornece números da evolução da produção de agregados para construção civil.

Gráfico 1: Evolução da produção dos agregados para a construção civil.



Fonte: Adaptado de Valverde 2001.

Com base nos dados mostrados no Gráfico 1, é verificado o aumento considerável na produção desses agregados em um intervalo de 10 anos. A areia por sua vez, atingiu uma maior elevação em relação a brita, isso porque o uso da mesma é mais intenso. Podemos então analisar que a produção da areia nesse intervalo de tempo cresceu em cerca de 15 vezes mais, já a produção de brita por sua vez, cresceu em cerca de 2 vezes mais.

As características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural e artificiais, encontrados fragmentados ou resultante da britagem de rochas, são fixadas pela ABNT NBR 7211 (VALVERDE, 2001). Isto porque, algumas características dos agregados, são bastante relevantes, como por exemplo: a forma dos grãos; a sua granulometria;

a textura superficial; a limpeza; a sua disponibilidade, entre outros, por serem de suma importância para auxiliar nas especificações e propriedades dos concretos a serem produzidos (SBRIGHI NETO, 1999).

2.1.1 Classificação dos agregados

De acordo com Ribeiro (2002), os agregados podem ser classificados quanto a sua origem (Quadro 1); quanto a sua massa unitária (Quadro 2); quanto a sua forma (Quadro 3); e quanto as suas dimensões.

Quadro 1: Classificação dos agregados quanto a sua origem.

Classificação	Obtenção	Exemplos
Naturais	Rochas fragmentadas pela ação do vento, da chuva, das variações de temperatura, etc.	Areias, pedregulhos.
Artificiais	Materiais fragmentados ou triturados com auxílio de britadores ou outro meio artificial.	Areias artificiais e britas de granito, gnaiss, calcário, etc.

Fonte: Adaptado de Ribeiro 2002.

Quadro 2: Classificação dos agregados segundo a massa unitária.

Classificação	Massa unitária γ_a (kg/dm³)	Exemplos	Utilização
Leves	$\gamma_a < 1$	Escória de alto forno, argila expandida, etc.	Pré-moldados.
Normais	$1 < \gamma_a < 2$	Areia, brita e pedregulho.	Obras correntes.
Pesados	$\gamma_a > 2$	Barita, limonita, magnetita.	Concreto de estruturas especiais.

Fonte: Adaptado de Ribeiro 2002.

Quadro 3: Classificação segundo a forma dos grãos.

Classificação	Descrição	Exemplos
Arredondados	Completamente erodido por água ou atrito.	Seixos ou areias de rio ou de praias.
Angulosos	Possui as áreas bem definidas.	Pedras britadas.
Irregulares	Possui irregularidades naturais.	Seixos de escavações.

Fonte: Adaptado de Ribeiro 2002.

Quanto às dimensões, o referido autor classifica os agregados em graúdos e miúdos. Os agregados graúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira ABNT 76 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm. Como exemplo as britas, que por sua vez, podem ser classificadas comercialmente, de acordo com o Quadro 4:

Quadro 4: Classificação das britas quanto as dimensões dos grãos.

Classificação	Peneiras (mm)	Utilização
Brita 0	4,8 – 9,5	Concreto convencional
Brita 1	9,5 – 19,0	
Brita 2	19,0 – 25,0	
Brita 3	25,00 – 38,0	Concreto massa
Brita 4	38,0 – 64,0	
Pedra de mão	>76	Fundações

Fonte: Adaptado de Ribeiro 2002.

Já os agregados miúdos, ainda de acordo com o autor supracitado, são aqueles cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm. De modo geral podemos citar a areia como exemplo de agregado miúdo, na qual a mesma é bastante utilizada na construção civil.

2.2 Processo de britagem

Figueira, Luz e Almeida (2010), afirmam que a britagem é o processo pelo qual as rochas são depositadas em máquinas onde irá ocorrer a fragmentação das mesmas, no entanto, como existe uma série de equipamentos, esta operação deve ser repetida diversas vezes, mudando-se o equipamento, até adquirir a obtenção do material adequado.

Nunes (2012), afirma que existem dois principais equipamentos utilizados para realização do processo de britagem das rochas: britadores de mandíbula e os giratórios. O processo de britagem decorrente do tipo mandíbula ocorre quando os blocos de rocha são

introduzidos entre duas mandíbulas e durante o processo de aproximação as rochas são esmagadas. O mesmo procedimento é realizado diversas vezes até que as rochas possam atingir o tamanho desejado. Na Figura 2, temos a representação de um britador do tipo mandíbula:

Figura 2: Britador do tipo mandíbula.



Fonte: Infra Brasil, 2019.

Já os britadores do tipo giratórios são compostos por um cone móvel interno e um manto fixo. O cone gira, se aproximando e se afastando das paredes internas do manto, na medida em que esse movimento ocorre, as partículas de rocha são esmagadas e, quando o cone se afasta elas caem para partes mais inferiores do equipamento, onde são novamente esmagadas pelo movimento giratório do cone móvel. Esse processo também é repetido até que as partículas atinjam o tamanho desejado (NUNES, 2012). Na Figura 3, temos a representação de um britador do tipo giratório.

Figura 3: Britador giratório.



Fonte: Mogroup, 2021.

A partir do processo de britagem temos, então, a confecção do pó de pedra, que de acordo com Damo (2011), trata-se de um agregado resultante do processo de britagem passante na última tela do beneficiamento final, com seu diâmetro máximo variante de acordo com cada região do país.

Para Lodi (2006), o pó de pedra pode ser definido como o produto do processo de beneficiamento dos agregados naturais de britagem, na qual, o mesmo é obtido através do processo de trituração de pedras maiores por equipamentos mecânicos.

A utilização do pó de pedra como agregado miúdo no concreto vem sendo analisada e tem gerado bastante interesse, não só pelos aspectos ambientais, como também pelos aspectos econômicos, uma vez que as pedreiras poderão comercializar um produto oriundo de rejeito que não possuía valor e que causava transtorno no que diz respeito à estocagem e ao meio ambiente, o que acarreta em um produto final de valor mais acessível (MENOSSSI, 2004).

2.3 Impactos ambientais

A NBR ISO 14001 (1996), define impacto ambiental como “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização”.

2.3.1 Impactos ambientais gerados pela extração da areia

Lelles (2005), destaca alguns dos diversos impactos ambientais causados pela extração da areia natural nos cursos dos rios:

- a) Contaminação do curso d'água causada pelos resíduos (óleos, graxas, lubrificantes) provenientes de maquinarias utilizadas nos diferentes tipos de operações.
- b) Aumento da concentração de partículas em suspensão (turbidez) no curso d'água, devido ao atrito do material mineral com o corpo líquido, durante o processo de extração de areia.
- c) Alteração da calha original dos cursos d'água, em virtude do uso de equipamentos de extração de areia nos leitos dos rios.
- d) Possibilidade de interferência na velocidade e direção do curso d'água, tendo em vista a eliminação de bancos de sedimentos presentes nos leitos dos rios.

- e) Diminuição da infiltração de água no solo, devido à compactação ocasionada pelo uso de máquinas pesadas e à impermeabilização promovida pela instalação da infraestrutura do empreendimento.
- f) Desregularização da vazão dos cursos d'água, devido à erradicação da cobertura vegetal e da compactação do solo.

2.3.2 Impactos ambientais gerados pelo processo de britagem

Bacci, Landim e Eston (2006) conceituam que os impactos ambientais gerados através do processo de britagem estão associados as diversas fases da exploração: na abertura de cavas, no uso de explosivos no desmonte das rochas. Esses fatores por sua vez, são responsáveis por afetar os meios como água, solo e ar, além da população local.

No Quadro 5, é possível observar algumas dessas atividades produzidas, bem como os seus possíveis impactos causados:

Quadro 5: Principais aspectos e impactos ambientais provocados no processo de britagem.

Atividades	Aspectos	Impactos
Desmonte das bancadas com detonação dos explosivos	Geração e propagação de ondas sísmicas no terreno e no ar (vibração e sobrepressão atmosférica).	Riscos de danos a construções civis, desconforto à população vizinha, riscos de incidentes e de vida.
	Ultralançamento de fragmentos.	Riscos de danos a construções civis e riscos a vida humana.
	Geração de ruído, fumos e gases.	Poluição sonora.
		Desconforto à população e riscos de incidentes e intoxicação.
	Escorregamentos de taludes fora do setor de desmonte.	Riscos de acidentes.
Armazenagem de explosivos e acessórios de detonação	Riscos de explosão.	Perdas materiais e de vidas, poluição do ar.
	Eficiência no armazenamento.	Redução de riscos de acidentes.
Descarregamento do minério	Geração de poeira e ruído.	Poluição do ar e sonora, desconforto aos trabalhadores.
Britagem da rocha	Geração de poeira e ruído.	Poluição do ar e sonora, riscos de doenças pulmonares e desconforto aos trabalhadores.
	Riscos de acidentes.	Perdas de vida e materiais.
	Consumo de energia.	Utilização de recursos naturais.
	Vibração dos equipamentos.	Perdas de rendimento.
Transferência de materiais	Escape/perda de material.	Riscos de acidentes, conforme o diâmetro do minério.
	Geração de poeira e ruído.	Poluição do ar e sonora, desconforto aos trabalhadores.
Estocagem do produto	Geração de ruído, poeira e emissão de gases produzidos pelas máquinas.	Poluição do ar e sonora, intoxicação por gases.
	Perdas de material.	Contaminação das águas superficiais e assoreamento de córregos próximos.

Fonte: Adaptado de Bacci, Landim e Eston (2006).

2.4 Cimento Portland

Santos (2004), define que o cimento é uma espécie de pó fino que possui algumas propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que são capazes de endurecer sob a ação da água. O autor afirma que no Egito antigo, a arquitetura monumental já utilizava uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado que, de certa forma, representava a origem do cimento.

Neville (2015), define que o cimento é um material que possui propriedades adesivas e coesivas, e essas propriedades por sua vez, o fazem capaz de unir fragmentos minerais na forma de unidade compacta. Essa definição abrange uma grande variedade de materiais cimentícios. Na área da construção, o autor afirma que o significado do termo “cimento” é restrito a materiais aglomerantes utilizados com pedras, areias, tijolos, blocos para alvenaria, etc. O cimento Portland é o mais utilizado, pois possui excelentes características de trabalhabilidade, resistência, durabilidade e versatilidade.

Os principais constituintes do cimento Portland são compostos de calcário, de modo que, em engenharia civil e construções, o interesse é o cimento a base de calcário, pois reagem quimicamente com a água. Os cimentos utilizados para a confecção de concreto têm a propriedade de reagir e endurecer sob a água, sendo então denominados cimentos hidráulicos (NEVILLE, 2005).

Neville (2015), ainda, afirma que as matérias-primas utilizadas para a confecção do cimento Portland é o calcário, a sílica, alumina e óxido de ferro. O autor complementa que existem quatro compostos que são considerados os principais constituintes do cimento, na qual podemos analisa-los no Quadro 6, abaixo:

Quadro 6: Principais compostos do cimento Portland.

Nome do composto	Composição	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcio	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato tricálcio	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferro aluminato tetracálcio	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

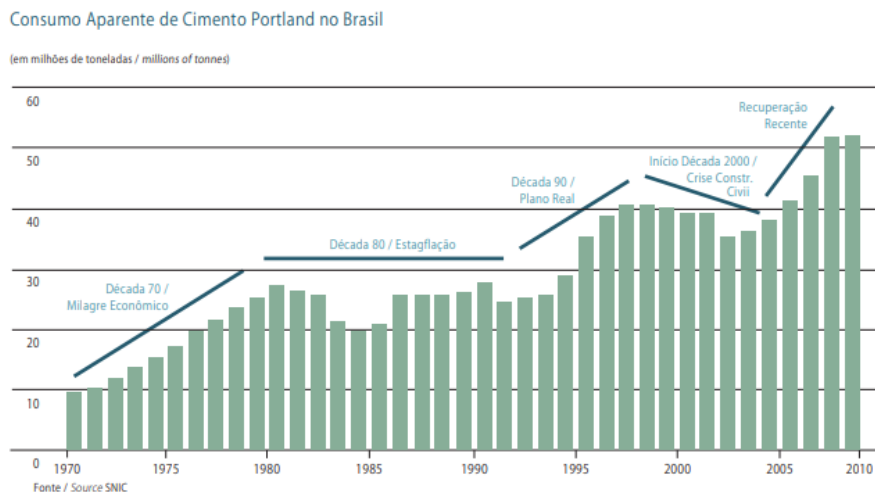
Fonte: Adaptado de Neville (2015).

Além desses compostos listados no quadro acima, Neville (2015), afirma que ainda existem outros elementos secundários, que por sua vez, constituem uma pequena parte da massa do cimento, dentre eles, podemos citar o MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O e Na_2O .

Para Battagin (2010), o principal constituinte do cimento Portland é o clínquer Portland, material resultante da calcinação a aproximadamente $1450^{\circ}C$ de uma mistura de calcário e argila e eventuais corretivos químicos de natureza silicosa, aluminosa ou ferrífera, empregados de modo a garantir o quimismo. Esse quimismo refere-se a certa proporção de determinados compostos químicos da mistura, dentro de limites específicos, para proporcionar a formação de compostos hidráulicos e conferir a propriedade ligante do cimento Portland.

Santos (2004), afirma que no Brasil, a primeira tentativa para realizar a fabricação do cimento Portland ocorreu no ano de 1888, momento em que Antônio Proost Rodovalho instalou em sua fazenda localizada na cidade de Santo Antônio/SP, uma pequena indústria. Recebeu então o nome de Usina Rodovalho, que operou de 1888 a 1904 e foi, por sua vez, extinta definitivamente em 1918. Na Figura 4 podemos observar a crescente evolução do consumo do cimento no Brasil a partir do ano de 1970:

Figura 4: Consumo de cimento no Brasil ao longo dos anos.



Fonte: SNIC, 2009.

2.4.1 Propriedades físicas

Dentre as propriedades físicas do cimento Portland, podemos citar: a finura, o tempo de pega, a resistência a compressão, teor da escória, teor de material pozzolânico, teor de material carbonálico e expansibilidade a frio. A Norma ABNT NBR 11578 – “Cimento Portland

composto” fixa algumas características físicas na qual os cimentos devem apresentar, apresentadas na Tabela 1, abaixo:

Tabela 1: Exigências físicas e mecânicas.

Características e propriedades		Unidade	Limites de Classe		
			25	32	40
Finura	Resíduo na peneira 75 μm	%	$\leq 12,0$	$\leq 12,0$	$\leq 10,0$
	Área específica	m^2/kg	≥ 240	≥ 260	≥ 280
Tempo de início de pega		h	≥ 1	≥ 1	≥ 1
Expansibilidade a quente		mm	≤ 5	≤ 5	≤ 5
Resistência a compressão	3 dias de idade	Mpa	$\geq 8,0$	$\geq 10,0$	$\geq 15,0$
	7 dias de idade	Mpa	$\geq 15,0$	$\geq 20,0$	$\geq 25,0$
	28 dias de idade	Mpa	$\geq 25,0$	$\geq 32,0$	$\geq 40,0$

Fonte: Adaptado de NBR 11578.

Essas propriedades são responsáveis pela qualificação do cimento em análise. A finura por sua vez, de acordo com Neville (2015), é relacionada com o tamanho dos grãos que constituem esse cimento e interfere diretamente na velocidade de hidratação do mesmo, como também para um rápido desenvolvimento de resistência. O tempo de pega interfere na trabalhabilidade. A expansibilidade a quente tende a verificar a influência de CaO (óxido de cálcio) e a resistência a compressão é um ensaio na qual é possível verificar a resistência dos mesmos, a qual tende a variar de acordo com o tipo de cimento utilizado.

2.4.2 Propriedades químicas

Assim como as propriedades físicas citadas anteriormente, a Norma NBR 11578, fixa algumas características químicas exigíveis nos cimentos Portland, na qual podemos analisar as mesmas na Tabela 2:

Tabela 2: Exigências químicas.

Determinações químicas	Limites (% da massa)		
	CP II-E	CP II-Z	CP II-F
Resíduo insolúvel (RI)	$\leq 2,5$	$\leq 16,0$	$\leq 2,5$
Perda ao fogo (PF)	$\leq 6,5$		
Óxido de magnésio (MgO)	$\leq 6,5$		
Trióxido de enxofre (SO₃)	$\leq 4,0$		
Anidrido carbônico (CO₂)	$\leq 5,0$		

Fonte: Autoria própria, 2021.

Tendo em vista a composição químicas dos cimentos, é necessário então seguir as especificações acima mencionadas, para que as propriedades do mesmo não sejam alteradas. Para verificação de algumas dessas exigências é necessário fazer uso de laboratório.

2.5 Concreto

Helene e Andrade (2007), afirmam que o concreto de cimento Portland é um material que desempenha função estrutural e de construção civil mais utilizado da atualidade. A descoberta desse material ocorreu no fim do século XIX e atingiu o seu intensivo uso no século XX. Essa descoberta pode ser considerada uma das mais importantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida.

Ainda de acordo com Helene e Andrade (2007), o concreto é considerado o material mais consumido pelo homem, logo depois da água, e é capaz de revolucionar a arte de projetar e construir estruturas cuja evolução sempre esteve associada ao desenvolvimento das civilizações ao longo da história da humanidade.

As propriedades do concreto são fatores responsáveis onde ocorre a diferenciação e a qualificação dos tipos de concreto, logo é de suma importância fazer a seleção dos materiais que farão a sua composição. No Quadro 7, a seguir, podemos analisar algumas propriedades do concreto que dependem das características dos agregados utilizados.

Quadro 7: Propriedades do concreto influenciadas pelas características do agregado.

Propriedades do concreto	Características relevantes do agregado
Resistência Mecânica	Resistência mecânica e sanidade Textura superficial Limpeza Forma dos grãos Dimensão máxima
Retração	Módulo de elasticidade Forma dos grãos Textura superficial Limpeza Dimensão máxima
Módulo de elasticidade	Granulometria Módulo de elasticidade Coeficiente de poisson
Resistência a derrapagem	Tendência ao polimento Textura superficial
Economia	Forma dos grãos Textura superficial Granulometria Dimensão máxima Beneficiamento requerido Disponibilidade

Fonte: Adaptado de Weidmann, 2008.

Podemos então perceber as diversas características dos agregados que afetam diretamente nas propriedades do concreto, portanto, realizar uma seleção dos mesmos para a produção do concreto é de suma importância.

2.5.1 Tipos de concretos

No setor na construção civil, é possível encontrarmos variados tipos de concreto, na qual possuem propriedades diferentes, para diversos fins. Entre estes, podemos destacar: concreto leve; concreto auto-adensável; concreto de alto desempenho; concreto de alta resistência.

a) Concreto leve:

Rossignole (2003), define o concreto leve como sendo um material cuja a sua diferenciação do concreto convencional, se dá pelo fato de apresentar uma redução da massa específica e apresentar algumas alterações nas propriedades térmicas. A utilização desse tipo

de material (leve) para a confecção desses concretos, é responsável pela alteração em algumas propriedades do concreto, como: a trabalhabilidade; a resistência mecânica; o módulo de deformação; a retração e fluência.

A Figura 5 exemplifica um tipo de concreto leve fabricado:

Figura 5: Concreto Leve.



Fonte: Atex, 2017.

Rossignole e Agnesini (2011), complementam que o concreto leve é caracterizado pela sua baixa massa específica em relação ao concreto convencional. E esse fator acontece devido à substituição de uma parcela dos materiais sólidos do concreto pelo ar.

b) Concreto auto-adensável (CAA):

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), o concreto auto-adensável (CAA) foi desenvolvido no Japão no ano de 1988. Esse tipo de concreto é responsável por se moldar nas fôrmas por conta própria, e assim, preencher todos os espaços destinados a ele, sem necessidade de fazer o uso de vibração ou compactação externa de qualquer natureza. Na Figura 6 temos a imagem de um concreto auto-adensável:

Figura 6: Concreto Auto-Adensável.



Fonte: Tecnosil, 2021.

Tutikian e Dal Molin (2008), ainda afirma que as duas propriedades mais importantes do CAA são a trabalhabilidade e a estabilidade. Esse tipo de concreto atrai cada vez mais interesse no Brasil, e tem sido utilizado em indústrias de pré-moldados, em obras correntes e especiais. A dosagem do material, que é um dos aspectos mais importantes, vem sendo estudada superficialmente.

A Norma brasileira ABNT NBR 15823-1 (2010), aplicada ao CAA, o define como “concreto que é capaz de fluir, auto adensar pelo peso próprio, preencher a forma e passar por embutidos (armaduras, dutos e insertos), enquanto mantém sua homogeneidade (ausência de segregação) nas etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento” (CALADO, 2016).

c) Concreto de alto desempenho (CAD):

De acordo com Isaia, Helene e Tutikian (2011), o CAD consiste em um material que apresenta um melhor comportamento durante a utilização da construção em patamar mais elevado, se comparado com o concreto convencional, atendendo satisfatoriamente às exigências requeridas pelo proprietário ou pelo usuário em conformidade com os projetistas da estrutura de concreto.

Silva (1995), complementa que concreto de alto desempenho são aqueles que satisfazem os critérios de desempenho, como a resistência e a durabilidade das estruturas. Pois eles possuem resistência superior a 50 MPa, podendo chegar até a 100 MPa, enquanto o concreto convencional possui em média resistência igual a 30 MPa.

d) Concreto de alta resistência (CAR):

Alves (2000), afirma que o concreto de alta resistência (CAR), tem sido bastante utilizado nas últimas décadas, embora se trate de um material que para muitos ainda seja bastante recente. Com a continuidade do seu desenvolvimento, a sua classificação tem mudado bastante. Silva (1995), concorda que esse tipo de concreto vem sendo utilizado há bastante tempo. Esse fator é concretizado pela necessidade da obtenção de um material mais resistente para utilização em ambientes onde há uma maior necessidade de resistência.

Alves (2000), ainda complementa que o CAR apresenta algumas vantagens quando comparadas ao concreto convencional, pois proporcionam um aumento na durabilidade das estruturas; uma diminuição de deformações a longo prazo; redução do peso das estruturas; entre outras.

3.4.2 Dosagem dos concretos

O termo “dosagem dos concretos”, para Tutikian e Helene (2011), trata-se dos procedimentos necessários para a obtenção da melhor proporção entre os materiais constitutivos do concreto, que também pode ser conhecido por “traço”. Essa proporção ideal pode ser expressa em massa ou em volume, sendo preferível, e sempre mais rigorosa, a proporção expressa em massa seca de materiais.

Recena (2002), afirma que o objetivo de uma dosagem de concreto não diz respeito a obtenção do melhor concreto, mas, sim, do concreto mais aquedado, sendo sempre representado por um traço que deverá ser tomado como um ponto de partida, passível, portanto, de correções e de adaptações.

3 METODOLOGIA

Nesse tópico ocorre a descrição referente ao desenvolvimento do trabalho, ou seja, a forma como o mesmo foi realizado, com especificação de materiais e métodos.

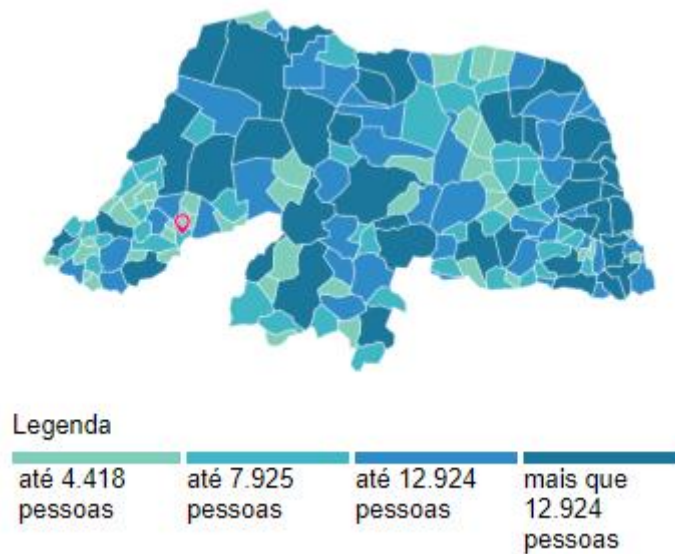
3.1 Tipologia da Pesquisa

A referente pesquisa é do tipo quantitativa, e de acordo com Moresi (2003) esse tipo de pesquisa são aquelas que tudo pode ser quantificável, ou seja, traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisa-las. Para a realização desta, é necessário o uso de recursos e de técnicas estatísticas (percentagem, média, moda, mediana, desvio-padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão, etc.). Além disso, esse estudo apresenta uma série de dados experimentais, que ainda segundo o autor a pesquisa experimental é aquela que permite observar e analisar um fenômeno, sob determinadas condições, esta por sua vez visa a verificação da viabilidade da substituição de um determinado material, verificando-se através da confecção de corpos de prova e testagem da resistência em laboratório.

3.2 Local de estudo

A cidade onde foi adquirido o pó de pedra utilizado para a confecção dos traços é Almino Afonso, localizada no interior do Rio Grande do Norte (Figura 7). Segundo dados do IBGE, possui uma área territorial de 128.038 km² e uma população estimada para o ano de 2021 de 4.685 habitantes. O material foi extraído e coletado na caieira da referida cidade. Esse local por sua vez possui um grande depósito de rocha calcária, e mediante a sua exploração é fabricado cal e brita, e consequentemente o pó de pedra decorrente do processo de britagem.

Figura 7: Localização de Almino Afonso/RN.



Fonte: IBGE, 2021.

3.3 Materiais utilizados

Nesse subtópico é mostrado todos os materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova: a areia, o pó de pedra, a brita e o cimento.

a. Areia:

A areia utilizada para a fabricação dos concretos foi extraída do sítio Logradouro, município de Frutuoso Gomes/RN. A mesma se trata de uma areia molhada e tem procedência de um leito de um rio. A extração desse material ocorreu de forma manual, utilizando apenas o auxílio de uma pá. Na Figura 8 é mostrada a extração da areia:

Figura 8: Extração de areia no rio.



Fonte: Autoria própria, 2021.

b. Pó de pedra:

O pó de pedra utilizado foi extraído do processo de britagem das rochas calcárias da cidade de Almino Afonso/RN. Na Figura 9 podemos perceber a estocagem de pó de pedra na referida cidade:

Figura 9: Estocagem de pó de pedra.



Fonte: Autoria própria, 2021.

c. Brita:

A brita utilizada neste trabalho foi do tipo granítica, fabricada na Pedreira Potiguar, localizada às margens da RN-233, na cidade de Caraúbas/RN. Na Figura 10 podemos ver os estoques de brita na Pedreira Potiguar:

Figura 10: Estoque de brita na pedreira potiguar.



Fonte: Autoria própria, 2021.

d. Cimento Portland:

O cimento utilizado para a fabricação do concreto em estudo, foi o cimento Portland da marca Mizu e do tipo CP II E – 32 – RS. O mesmo é composto com escória de alto-forno e foi adquirido no comércio local da cidade de Caraúbas/RN. Temos a demonstração desse cimento na Figura 11:

Figura 11: Cimento Portland CP II E – 32 – RS.



Fonte: Mizu, 2020.

3.4 Procedimentos e elaboração dos corpos de provas

Tendo em vista que o presente trabalho possui objetivo de verificar a viabilidade estrutural da substituição da areia natural pelo pó de brita, foram então verificados a resistência a compressão em duas idades e a resistência a tração por compressão diametral em uma idade. Utilizou de 5 diferentes traços, na qual os mesmos possuíam substituição da areia natural pelo pó de pedra nas seguintes porcentagens: 0%, 25%, 50%, 75% e 100%. Logo, foram confeccionados um total de 45 corpos de prova. Sendo que, para cada traço foram rompidos 3 corpos de provas distintos, com a finalidade da obtenção da média entre eles.

3.4.1 Processo de granulometria

Antes de iniciar o procedimento de dosagem dos concretos, foi necessário realizar alguns ensaios laboratoriais para determinação granulométrica dos mesmos. Uma das normas utilizadas foi a NBR 6457:2016 – “Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização”. Outro procedimento utilizado antes de iniciar o procedimento de granulometria foi a utilização do separados de amostras, com a finalidade de homogeneizar o material a ser utilizado.

Na Figura 12, podemos analisar o equipamento utilizado para fazer a homogeneização do material:

Figura 12: Separador de amostras.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Na Tabela 3 podemos perceber o critério da quantidade mínima de material a ser tomado para a realização do ensaio granulométrico.

Tabela 3: Quantidade de amostra para análise granulométrica.

Dimensões dos órgãos maiores contidos na amostra, determinadas por observação visual (mm)	Quantidade mínima a tomar (kg)
< 5	1
5 a 25	4
>25	8

Fonte: Adaptado de NBR 6457:2016.

Essa tabela foi utilizada para os ensaios granulométricos dos agregados miúdos, a areia e o pó de pedra.

Outras normas utilizadas foram a NBR 7181:2018 – “Solo – Análise granulométrica.”, e a norma Mercosul NBR NM 248:2003 – “Agregados – Determinação da composição granulométrica”. Seguindo as mesmas, realizamos a lavagem do agregado miúdo, com a finalidade de eliminar o material fino aderente, em seguida colocamos o material na estufa com a temperatura entre 105° e 110° por 24h com a finalidade de secar o material, após as 24h o material foi retirado e submetido ao processo de peneiramento fino e peneiramento grosso.

Para a quantidade de agregado gráudo mínimo a ser utilizado no processo de granulometria, utilizou-se os requisitos do item 5.1.2 da NBR NM 248. Na qual podemos analisar na Tabela 4:

Tabela 4: Massa mínima por amostra de ensaio.

Dimensão máxima nominal do agregado (mm)	Massa mínima da amostra do ensaio (kg)
< 4,75	0,3*
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Fonte: Adaptado de NBR NM 248.

Utilizando o paquímetro, podemos perceber que a dimensão do agregado graúdo em análise foi superior a 25,0 mm, sendo assim adotamos em valor equivalente a 15 kg de amostra.

Na Tabela 5 podemos analisar a série de peneiras utilizadas para realizar o peneiramento:

Tabela 5: Série de peneiras.

Série normal	Série intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 μ m	-
300 μ m	-
150 μ m	-

Fonte: Adaptado de NBR NM 248.

Na Figura 13 podemos analisar uma série de peneiras empilhadas, e agitadas por meio de agitador mecânico:

Figura 13: Processo de peneiramento.



Fonte: Autoria própria, 2021.

3.4.2 Teor de umidade

Além do processo de peneiramento, foi também realizado o processo de determinação do teor de umidade dos materiais utilizados de acordo com a norma NBR 6457:2016 - “Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização”. Para a realização deste, foi necessário colocar uma certa quantidade de material em recipiente adequado para ir a estufa com uma temperatura entre 105° a 110°, feito isso o material permaneceu no mesmo local por 24h. Posteriormente, o material foi retirado e pesado, com a finalidade de determinar o quanto o peso havia diminuído e determinar o teor de umidade.

Na Figura 14, podemos perceber a presença das amostras de materiais na estufa:

Figura 14: Materiais na estufa.



Fonte: Autoria própria, 2021.

3.4.3 Dosagem dos concretos

Após a determinação do teor de umidade, foi realizado o processo da dosagem dos concretos. Este por sua vez, foi realizado com um traço de 1:3:3, em massa, e com uma relação $a/c = 0,7$. Foi então feita a pesagem de todos os materiais constituintes de cada traço. Onde foi realizado 5 tipos de traços distintos, o primeiro (concreto convencional), e os demais contendo adição de pó de pedra em substituição parcial e total da areia natural. A substituição ocorreu nas seguintes porcentagens: 25%, 50%, 75% e 100% respectivamente.

A Tabela 6 descreve a forma na qual foram fabricados cada traço em análise:

Tabela 6: Composição dos traços fabricados.

Identificação	Água (l)	Cimento	Areia (%)	Pó de pedra (%)	Brita 1
Traço 01	Constante	Constante	100	0	Constante
Traço 02	Constante	Constante	75	25	Constante
Traço 03	Constante	Constante	50	50	Constante
Traço 04	Constante	Constante	25	75	Constante
Traço 05	Constante	Constante	0	100	Constante

Fonte: Autoria própria, 2021.

O concreto foi fabricado através de betoneira, na qual obteve a seguinte ordem de adição dos materiais: primeiramente o agregado graúdo (brita), em seguida a adição de 50% da água pré-determinada, depois ocorreu a adição do cimento, e por fim, a adição dos agregados miúdos, e o restante da água.

3.4.4 Moldagem dos corpos de prova

Após a fabricação dos concretos, ocorreu então o preenchimento dos corpos de prova. Para a realização desse procedimento utilizou-se então a norma NBR 5738:2016 – “Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.” Antes da adição dos concretos nos moldes, foi feita uma adição de óleo nos moldes com um auxílio de um pincel.

Na Figura 15, podemos perceber o processo da lubrificação dos moldes:

Figura 15: Lubrificação dos corpos de prova.

Fonte: Autoria própria, 2021.

Conforme podemos perceber, os moldes utilizados são do tipo cilíndricos e possuem dimensão de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Após a lubrificação, o concreto foi adicionado aos moldes, seguindo o requisito 7.4.1.2 da NBR 5738:2016.

Na Tabela 7 podemos perceber a quantidade de camadas e de golpes que devem ser adotadas para cada tipo de molde:

Tabela 7: Número de camadas e golpes de socamento.

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	-	-
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	-	-

Fonte: Adaptado de NBR 5738:2015.

Conforme mencionado, o tipo de corpo de prova utilizado foi o cilíndrico, com dimensão de 100 mm, e o tipo de adensamento utilizado foi manual, sendo assim, os corpos de prova foram moldados em duas camadas, com um total de 12 golpes em cada camada, de acordo com a tabela acima.

Além da confecção dos corpos de prova, também foi realizado o ensaio de abatimento nos concretos, o slump test de acordo com a norma NBR 16889:2020 – “Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”. Para a realização do mesmo, adicionamos 3 camadas, e cada uma delas adensadas com um total de 25 golpes em cada camada.

Após a moldagem dos corpos de prova, os mesmos passaram por um período de 24h de secagem antes de serem submersos na água para realização do processo de cura.

Na Figura 16, podemos analisar alguns dos corpos de prova submersos para realização do processo de cura.

Figura 16: Corpos de prova submersos.



Fonte: Autoria própria, 2021.

3.5 Métodos de Análises

Além dos ensaios de granulometria, também realizamos outros ensaios, com a finalidade de conhecer algumas propriedades do concreto, como a resistência a compressão e tração por compressão diametral. Ambos ensaios foram realizados utilizando a prensa elétrica digital da SOLOCAP do laboratório de Engenharia Civil da UFERSA, Campus Caraúbas/RN na qual a mesma possui uma capacidade máxima de 2000 kN e precisão de $\pm 1\%$.

3.5.1 Ensaio de compressão

Para realização dos ensaios de compressão e tração foi necessário que os corpos de prova permanecessem submersos por um período de 7 a 28 dias. Foi realizado o ensaio de compressão, em duas idades, 7 e 28 dias. Já o ensaio de tração por compressão diametral, em uma idade, realizada aos 28 dias.

Antes da realização dos ensaios de rompimento dos corpos de prova, foi necessário a realização do processo de retificação dos corpos de prova, com a finalidade de tornar reto e uniforme todos eles. Na Figura 17, podemos analisar a realização desse processo.

Figura 17: Processo de retificação dos corpos de prova.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Após a realização desse procedimento, foi realizado a ruptura dos corpos de provas através do ensaio de compressão de acordo com a Norma NBR 5739 – “Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos”. Na qual o corpo de prova foi inserido na prensa com uma velocidade pré-estabelecida de 2,4 a 6,3 kN/s até a sua ruptura.

Na Figura 18 temos um corpo de prova fabricado, submetido a uma força aplicada pela prensa, para obtenção da resistência a compressão:

Figura 18: Corpo de prova no ensaio de compressão.



Fonte: Autoria própria, 2021.

3.5.2 Ensaio de tração por compressão diametral

Para realização desse ensaio utilizou-se como base normativa a NBR 7222 – “Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos”. Esse ensaio também foi realizado com o auxílio da prensa hidráulica, no entanto, foi determinado uma velocidade de 0,4 kN/s e foi necessário utilizar um aparelho na qual foi inserido na prensa, com finalidade prender o corpo de prova na horizontal até atingir a ruptura.

Na Figura 19, temos o esquema para realização do ensaio de tração por compressão diametral:

Figura 19: Ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: Autoria própria, 2021.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Logo após a realização da metodologia anteriormente citada, obtivemos então alguns resultados, na qual podemos verificar os mesmo a seguir:

4.1 Granulometria dos agregados

No processo de peneiramento fino para a areia, obtivemos então os dados expostos na Tabela 8:

Tabela 8: Resultado do peneiramento da areia.

Malha da peneira	Quantidade de material passante (g)
6,30 mm	15,90
4,75 mm	6,38
2,36 mm	62,04
1,18 mm	404,26
0,6 mm	448,40
0,3 mm	221,16
0,15 mm	101,34
Fundo	15,25

Fonte: Autoria própria, 2021.

Conforme mostrado na Tabela 8, podemos perceber que a maior porte dos grãos de areia ficaram retidos na peneira com as malhas 1,18 mm e 0,3 mm, o que classifica assim como um material fino. Nas peneiras 6,30 mm e 4,75 mm ficaram retidas apenas alguns pedregulhos extraídos do leito do rio e presente na amostra.

Na Figura 20, podemos analisar a areia passante em cada malha:

Figura 20: Areia passante nas malhas.

Fonte: Autoria própria, 2021.

O mesmo procedimento foi realizado para o pó de pedra, na qual obtivemos os seguintes resultados expostos na Tabela 9:

Tabela 9: Resultado do peneiramento do pó de pedra.

Malha da peneira	Quantidade de material passante (g)
6,30 mm	4,08
4,75 mm	0,27
2,36 mm	2,59
1,18 mm	196,03
0,6 mm	272,17
0,3 mm	182,46
0,15 mm	159,89
Fundo	135,29

Fonte: Autoria própria, 2021.

O pó de pedra por sua vez, apresentou uma maior quantidade de material retido nas peneiras entre 1,18 mm e 0,15 mm. Além disso, ao contrário da areia, o pó de pedra apresentou uma quantidade considerável de material retido no fundo das peneiras, o que representa um material mais fino quando comparado a areia, esse fator irá fornecer um maior grau de compacidade entre as partículas, o que torna o elemento com uma maior resistência.

Na Figura 21 também podemos analisar o pó de pedra passante em cada malha:

Figura 21: Pó de pedra passante nas malhas.

Fonte: Autoria própria, 2021.

Para a brita, foi adotado o mesmo procedimento, mudando apenas as malhas das peneiras, sendo então classificado como peneiramento grosso. Na qual podemos observar os dados obtidos na Tabela 10:

Tabela 10: Resultado do peneiramento da brita.

Malha da peneira	Quantidade de material passante (g)
50,0 mm	0
37,50 mm	0
25,0 mm	0
19,0 mm	6815,1
9,50 mm	8595
6,30 mm	13,1
Fundo	0

Fonte: Autoria própria, 2021.

Conforme podemos ver, a maior quantidade de material retido no peneiramento da brita se apresentou nas peneiras 19,0 mm e 9,50 mm, sendo assim classificada de acordo com o Quadro 4 como brita 01.

Na Figura 22, podemos visualizar a quantidade de material passante em cada peneira:

Figura 22: Material passante no peneiramento grosso.



Fonte: Autoria própria, 2021.

4.2 Teor de umidade dos materiais

Conforme descrito na metodologia, também realizamos o ensaio de umidade nos materiais utilizados, na qual obtivemos alguns resultados. Para realizarmos o cálculo do teor de umidade utilizamos a Equação (1):

$$h = \frac{M1-M2}{M2-M3} * 100 \quad (1)$$

Onde:

H: teor de umidade (%);

M1: massa de solo úmido mais a massa do recipiente (g);

M2: massa do solo seco mais a massa do recipiente (g);

M3: massa do recipiente (g).

Nas Tabela 11, 12 e 13 temos os resultados referentes ao teor de umidade da areia, do pó de pedra e da brita:

Tabela 11: Teor de umidade da areia.

Umidade: Areia				
	Antes da estufa		Pós estufa	
Nº	Cápsula (g)	Cápsula + Solo (g)	Cápsula + Solo (g)	Teor de umidade
C1	11,82	75,37	75,3	0,11%
C2	15,43	92,92	92,82	0,13%
C3	15,79	95,62	95,52	0,12%
C4	15,61	94,26	94,17	0,11%
C5	14,93	83,86	83,8	0,09%
Total				0,112%

Fonte: Autoria própria, 2021.

Tabela 12: Teor de umidade do pó de pedra.

Umidade: Pó de pedra				
	Antes da estufa		Pós estufa	
Nº	Cápsula (g)	Cápsula + Solo (g)	Cápsula + Solo (g)	Teor de umidade
C1	16,03	80,5	80,48	0,03%
C2	14,91	79,93	79,9	0,05%
C3	15,88	79,35	79,33	0,03%
C4	17,06	81,65	81,62	0,05%
C5	14,99	85,27	85,25	0,03%
Total				0,038%

Fonte: Autoria própria, 2021.

Tabela 13: Teor de umidade da brita.

Umidade: Brita				
	Antes da estufa		Pós estufa	
Nº	BAN (g)	BAN + Brita (g)	BAN + Brita (g)	Teor de umidade
BAN 1	577,2	10583,4	10547,8	0,35%
BAN 2	607,6	6116	6098,8	0,31%
Total				0,33%

Fonte: Autoria própria, 2021.

O teor de umidade para a areia em análise se apresentou baixo, isso porque a extração da areia ocorreu alguns dias antes do ensaio e também a mesma havia sido exposta ao sol e ar livre para realização do processo de secagem. O teor de umidade do pó de pedra também foi baixo e inferior ao teor de umidade da areia, isso porque esse material desde o seu processo de fabricação fica exposto ao sol e ao ar livre no pátio das pedreiras, diferentemente da areia

molhada extraída do leito de um rio. O teor de umidade para a brita também foi baixo, no entanto um pouco superior aos demais.

Conforme podemos analisar todos os materiais em análise apresentaram um baixo teor de umidade, representando assim um fator ideal pois não irá causar interferência no resultado, tendo em vista que o teor de umidade pode interferir relativamente na relação a/c.

4.3 Abatimento dos concretos

Conforme mencionado, realizamos o ensaio *slump test*, na qual obtivemos os seguintes resultados mencionados na Tabela 14:

Tabela 14: Resultado do abatimento dos concretos.

Abatimento dos concretos	
Identificação	Abatimento (cm)
Traço 01 – 0%	5
Traço 02 – 25%	3
Traço 03 – 50%	5
Traço 04 – 75%	5
Traço 05 – 100%	2

Fonte: Autoria própria, 2021.

Conforme podemos analisar, não houveram grandes variações mediante o ensaio de abatimento dos concretos. Apresentando apenas um menor abatimento no traço 05, na qual era confeccionado totalmente com o pó de pedra em substituição a areia natural. Tendo em visto que são materiais distintos, e a quantidade de água utilizada foi a mesma para todos os traços, o traço 05 por sua vez, se apresentou como concreto mais seco, em virtude disso, o valor do abatimento do mesmo, tende a ser menor. Na Tabela 15 podemos analisar a classificação do abatimento dos concretos de acordo com Andolfato (2002):

Tabela 15: Classificação das consistências do concreto.

Consistência	Abatimento (cm)
Seca	0 a 2
Firme	2 a 5
Média	5 a 12
Mole	12 a 18
Fluida	18 a 25

Fonte: Adaptado de Andolfato, 2002.

Sendo assim, podemos classificar todos os abatimentos obtidos em uma consistência “firme” conforme mostrado na Tabela 15. O autor ainda fornece valores de abatimento que potencializa o concreto fabricado para cada tipo de construção (Tabela 16).

Tabela 16: Abatimentos recomendados.

Tipos de construção	Abatimento (cm)
Fundações, tubulões, paredes grossas	3 a 10
Vigas, lajes, paredes finas	5 a 10
Pavimentos	3 a 5
Obras maciças	2 a 5

Fonte: Adaptado de Andolfato, 2002.

Na Figura 23, o procedimento de verificação do abatimento dos concretos.

Figura 23: Abatimento dos concretos.



Fonte: Autoria própria, 2021.

4.4 Resistência a compressão

Conforme descrito, realizou-se o ensaio de resistência a compressão, na qual obtivemos a força aplicado pela prensa sobre o corpo de prova. Utilizamos então a Equação 2 para calcular a resistência:

$$P = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Onde:

P: Resistência a compressão (Mpa);

F: Força aplicada (N);

A: Área da base do corpo de prova (mm²)

Para determinar a área da base do corpo de prova, utilizamos a Equação 3:

$$A = \pi * r^2 \quad (3)$$

Onde:

A: Área da base do corpo de prova (mm²);

R: raio do corpo de prova utilizado (mm).

Feito isso, realizamos a determinação da resistência a compressão dos corpos de prova e obtivemos os seguintes resultados explícitos na Tabela 17:

Tabela 17: Resistência a compressão dos corpos de prova.

Resistência a compressão								
Identificação	Força aplicada (kN)				Composição		7 dias (MPa)	28 dias (MPa)
	7 dias		28 dias		Areia	Pó de pedra		
Traço 01	CP1	101,5	CP1	128,38	100%	0%	13,76	17,77
	CP2	117,54	CP2	148,41				
	CP3	105,34	CP3	142,12				
Traço 02	CP1	122,66	CP1	170,22	75%	25%	15,63	20,90
	CP2	119,45	CP2	166,99				
	CP3	126,30	CP3	155,26				
Traço 03	CP1	114,26	CP1	168,85	50%	50%	14,24	19,81
	CP2	113,44	CP2	137,82				
	CP3	114,05	CP3	160,28				
Traço 04	CP1	126,45	CP1	175,27	25%	75%	16,89	22,10
	CP2	134,96	CP2	176,52				
	CP3	136,65	CP3	169,11				
Traço 05	CP1	114,33	CP1	116,70	0%	100%	14,90	17,82
	CP2	117,47	CP2	152,73				
	CP3	119,31	CP3	150,55				

Fonte: Autoria própria, 2021.

Podemos então perceber de acordo com a Tabela 17 que a resistência a compressão se apresentou superior em todos os traços cuja composição apresentava o pó de pedra como substituição parcial ou total, na qual é compatível com experimentos realizados por outros autores como Menossi (2004), entre outros. Podemos também observar a padronização da resistência dos respectivos traços nas duas idades, aos 7 e aos 28 dias. Com esses resultados mostrados acima, podemos analisar que o traço onde obtivemos uma maior resistência a compressão, foi o traço cujo a dosagem apresentava um total de 75% de pó de pedra e 25% de areia, isso devido ao empacotamento de partículas responsável por preencher os espaços vazios

deixados por partículas de maior diâmetro por partículas de menor diâmetro. Esse espaço entre as partículas é preenchido por partículas ainda menores e, assim, sucessivamente.

4.5 Resistência a tração por compressão diametral

Conforme mencionado, o ensaio de resistência a tração por compressão diametral foi realizado após 28 dias de cura. Para determinação da sua resistência utilizamos a Equação 4:

$$f_{ct, sp} = \frac{2 F}{\pi d l} \quad (4)$$

Onde:

$f_{ct, sp}$: resistência à tração por compressão diametral (Mpa);

F: força máxima obtida no ensaio (N);

d: diâmetro do corpo de prova (mm);

l: comprimento do corpo de prova (mm).

Ao substituírmos os valores na equação acima, obtivemos os seguintes resultados, expressos na Tabela 18:

Tabela 18: Resistência a tração por compressão diametral.

Resistência a tração por compressão diametral					
Identificação	Força aplicada		Composição		28 dias (MPa)
	28 dias		Areia	Pó de pedra	
Traço 01	CP1	63,52	100%	0%	1,98
	CP2	54,21			
	CP3	69,41			
Traço 02	CP1	77,32	75%	25%	2,45
	CP2	82,89			
	CP3	71,04			
Traço 03	CP1	68,50	50%	50%	2,20
	CP2	58,92			
	CP3	80,62			
Traço 04	CP1	69,41	25%	75%	2,24
	CP2	63,39			
	CP3	78,35			
Traço 05	CP1	77,55	0%	100%	2,17
	CP2	57,72			
	CP3	69,66			

Fonte: Autoria própria, 2021.

Os resultados obtidos por sua vez estão de acordo com a afirmativa do autor Neville (1997), onde ele afirma que a correlação da resistência à tração do concreto corresponde a 10% da sua resistência à compressão. Apesar dos resultados não apresentarem grandes variações entre os diferentes traços, no entanto todos os traços na qual apresentava a presença de pó de pedra na sua confecção, aumentou a sua resistência quando comparado ao concreto convencional.

Na Figura 24, temos o resultado de um corpo de prova após a realização do ensaio de tração por compressão diametral:

Figura 24: Resultado do ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: Autoria própria, 2021.

4.6 Viabilidade financeira

O SEBRAE (2019) define a viabilidade financeira como sendo um dado obtido através de despesas e lucros. Com ela, é possível calcular se o investimento de tempo e dinheiro necessário para colocar em prática um plano ou projeto é viável. Ela também tem como finalidade mostrar dados reais sobre o provável retorno financeiro de acordo com a injeção de dinheiro e a análise de mercado.

Para verificação da viabilidade financeira, foi realizado uma pesquisa na referente cidade, na qual foi consultado o valor do pó de pedra e da areia. Os valores encontrados estão apresentados na Tabela 19:

Tabela 19: Custos de mercado.

Viabilidade econômica (2021)		
Identificação	Unidade	Valor (R\$)
Areia	4 m ³	220
Pó de pedra	4 m ³	100

Fonte: A autoria própria, 2021.

Podemos então perceber o quão viável economicamente se torna o pó de pedra em substituição a areia, pois se torna um material 120% mais barato.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os experimentos realizados, foi possível verificar uma série de dados referentes ao material em análise, o pó de pedra. Esse material por sua vez, apresentou uma maior viabilidade estrutural através dos ensaios de tração e compressão em todas as dosagens, tornando-se assim um material viável e propício ao uso na construção civil.

Após a realização do processo de granulometria, verificamos que o modulo de finura do pó de pedra é superior ao da areia, sendo assim, o mesmo produz um maior grau de compactidade entre as partículas que o constituem e consequentemente uma maior resistência.

Pudemos também verificar através dos ensaios realizados em laboratório, um aumento na resistência a compressão de 22% aos 7 dias e de quase 25% aos 28 dias de cura, quando utilizado o pó de pedra. Além disso, verificou-se também um maior valor referente a tração por compressão diametral em todos as dosagens realizadas.

Conforme descrito, é perceptível o elevado crescimento do consumo de matéria prima para fins construtivos e consequentemente surgem as desvantagens ambientais resultantes desse processo, sendo assim, o uso do pó de pedra na construção civil, se apresenta como sendo uma alternativa sustentável para a construção civil, visto que esse elemento se trata de um rejeito proveniente do processo de britagem e apenas estocado nos pátios das pedreiras.

Outro fator considerável para a utilização do mesmo é a viabilidade econômica, pois esse produto possui um menor valor comercial quando comparado a areia. De acordo com a pesquisa realizada na cidade em análise e no atual ano, temos uma redução de 120% no valor do pó de pedra quando comparado com a areia, o que traz uma economia considerável em aplicações de grandes volumes.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Fazer uma correlação no total de água utilizada, tendo em visto que um material possa consumir mais água que o outro, tornando assim o concreto mais úmido ou mais seco;
- Além da substituição do pó de pedra, substituir também o tipo de brita utilizado, como por exemplo, a brita calcária, a fim de testar também a sua resistência e verificar a sua viabilidade estrutural e econômica;

- Confeccionar uma maior quantidade de corpo de prova, para que se tenha uma maior precisão da média calculada entre eles;
- Utilizar também a substituição do pó de pedra para outros tipos de concretos, como o concreto leve, auto-adensável (CAA), concreto de alto desempenho (CAD) e concreto de alta resistência (CAR).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S.; LUZ, A. **Manual de Agregados para Construção Civil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.

ALVES, Martha Figueiredo. Estudo comparativo de métodos de dosagem para concreto de alta resistência. 2000.

ANDOLFATO, Rodrigo Piernas. Controle tecnológico básico do concreto. Ilha Solteira, 2002.

ANEPAC – MERCADO. **ANEPAC**, 2015. Disponível em:
<<https://www.anepac.org.br/agregados/mercado>>. Acesso em: 21 de novembro de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco do cone. Rio de Janeiro. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de caracterização. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de provas cilíndricos. Rio de Janeiro. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2003.

BACCI, Denise de La Corte; LANDIM, Paulo Milton Barbosa; ESTON, Sérgio Médici de. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. Rem: Revista Escola de Minas, v. 59, p. 47-54, 2006.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. Cimento Portland. Concreto: ciência e tecnologia, v. 1, p. 185-232, 2011.

BRITADORES GIRATÓRIOS PRIMÁRIOS. **Mogroup**, 2021. Disponível em:
<<https://www.mogroup.com/pt/portfolio/britadores-giratorios-primarios/>>. Acesso em: 22 de novembro de 2021.

CALADO, Carlos Fernando de Araújo et al. Concreto auto-adensável (CAA), mais do que alternativa ao concreto convencional (CC). 2016.

CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Guia de Sustentabilidade na Construção. Belo Horizonte: FIEMG, 2008. 60p.

CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL. **Tecnosil**, 2021. Disponível em:
<<https://www.tecnosilbr.com.br/concreto-auto-adensavel-principais-caracteristicas-e-aplicacoes-2/>>. Acesso em: 22 de novembro de 2021.

CONCRETO LEVE: TIPOS, BENEFÍCIOS E DESVANTAGENS. **Atex**, 2017. Disponível em: < <https://www.atex.com.br/blog/tecnologia-da-construcao/concreto-leve-beneficios-e-desvantagens/>>. Acesso em 19 de novembro de 2021.

CUCHIERATO, Gláucia. Caracterização tecnológica de resíduos da mineração de agregados da região metropolitana de São Paulo (RMSP), visando seu aproveitamento econômico. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DAMO, Gabriela Ferreira. Avaliação do desempenho de diferentes agregados miúdos de britagem em concretos de cimento Portland. 2011. 199 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

FABRO, Fabi et al. Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**, v. 4, n. 2, p. 191-212, 2011.

FIGUEIRA, Hedda Vargas; LUZ, Adão Benvindo da; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. Britagem e moagem.

FRAZÃO, E. B.; PARAGUASSU, A. B. (1998). Materiais Rochosos para Construção. In: Antônio Manoel dos Santos Oliveira; Sérgio Nertan Alves de Brito. (Org.). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. único, p. 331-342.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de cimento Portland. **Isaia, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON**, v. 2, p. 905-944, 2007.

IBGE | CIDADES. **IBGE**, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/almino-afonso/panorama>>. Acesso em: 22 de novembro de 2021.

ISAIA, Geraldo Cechella; HELENE, Paulo; TUTIKIAN, Bernardo F. Concreto de alto e ultra-alto desempenho. **Concreto: Ciência e Tecnologia. Cap**, v. 36, 2011.

JACOBI, Pedro. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de pesquisa**, p. 189-206, 2003.

LELLES, Leandro Camillo de et al. Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água. *Revista Árvore*, v. 29, p. 439-444, 2005.

LIMA, Ricardo Couto de. Areia artificial: uma alternativa para uso em construção civil. 2005.

LODI, Victor Hugo. Viabilidade Técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento Portland na região de Chapecó- SC. 2006. 129 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MENOSSE, Rômulo Tadeu. Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto. 2004.

MORESI, Eduardo et al. Metodologia da pesquisa. Brasília: Universidade Católica de Brasília, v. 108, n. 24, p. 5, 2003.

NEVILLE, A. M.; Propriedades do Concreto. Tradução Salvador Giammusso. São Paulo, PINI, 1997.

NEVILLE, Adam M. Propriedades do Concreto-5ª Edição. Bookman Editora, 2015.

NUNES, Jéssica Maria Gregory. Caracterização de resíduos e produtos da britagem de rochas basálticas e avaliação da aplicação na rochagem. 2012.

O QUE É UM BRITADOR DE MANDÍBULAS?. Infra Brasil, 2019. Disponível em: <<https://www.infrabrasil.net.br/o-que-e-um-britador-de-mandibulas/>>. Acesso em: 19 de novembro de 2021.

PRODUTOS – MIZU. **Mizu**, 2021. Disponível em: <<https://mizu.com.br/produtos/>>. Acesso em: 19 de novembro de 2021.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. Edipucrs, 2002.

RIBEIRO, Carmen Couto. **Materiais de construção civil**. Editora UFMG, 2002.

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. Concreto leve estrutural. 2011. In. ISAIA, G. C. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. v.2. 1.ed. São Paulo: IBRACON. Cap.42, p.1531-1568.

ROSSIGNOLO, João Adriano. **Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos-dosagem, produção, propriedades e microestrutura**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SANTOS, Alaílson Domingos dos. Estudo de propriedades físicas e químicas de um novo cimento selador endodôntico. 2004.

SBRIGHI NETO, Cláudio. A importância dos conceitos tecnológicos na seleção dos agregados para argamassas e concretos. **Revista Areia & Brita. EMC Editores**, n. 12, 1999.

SILVA, Inês Santana da. **Concreto de alta resistência: composição, propriedades e dimensionamento**. 1995. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SNIC. Sindicato Nacional da Indústria de Cimento. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2019.pdf. Acesso em: 28 de agosto de 2021.

TUTIKIAN, Bernardo F.; HELENE, Paulo. Dosagem dos concretos de cimento Portland. 2011.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; DAL MOLIN, Denise Carpena. Concreto auto-adensável. **São Paulo: PINI**, 2008.

VALVERDE, Fernando Mendes. Agregados para construção civil. **Balanço mineral brasileiro**, v. 2001, 2001.

VIABILIDADE FINANCEIRA. **SEBRAE**, 2019. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/pr/artigos/viabilidade-financeira,4e8ccd18a819d610VgnVCM1000004c00210aRCRD>>. Acesso em: 02 de novembro de 2021.

WEIDMANN, Denis Fernandes et al. Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland. 2008.